



Análise da viabilidade do uso de Gás Natural nos automóveis

Mestrado em Engenharia Automóvel

Pedro Daniel Pereira da Graça

Leiria, julho de 2020



Análise da viabilidade do uso de Gás Natural nos automóveis

Mestrado em Engenharia Automóvel

Pedro Daniel Pereira da Graça

Trabalho de Projeto realizado sob a orientação do Professor Doutor Luís Manuel Ventura Serrano
e do Professor Doutor Nuno Alexandre Gonçalves Martinho

Leiria, julho de 2020

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Originalidade e Direitos de Autor

O presente relatório de projeto é original, elaborado unicamente para este fim, tendo sido devidamente citados todos os autores cujos estudos e publicações contribuíram para o elaborar.

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição de que seja mencionado o Autor e feita referência ao ciclo de estudos no âmbito do qual a/o mesma/o foi realizado, a saber, Curso de Mestrado em 2020, no ano letivo 2019/2020, da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, Portugal, e, bem assim, à data das provas públicas que visaram a avaliação destes trabalhos.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Agradecimentos

Quero agradecer em primeiro lugar aos orientadores deste trabalho, o Professor Doutor Luís Serrano por todo o auxílio dado ao longo deste projeto tendo-se mostrado sempre disponível em qualquer ocasião e ao coorientador Professor Doutor Nuno Martinho pela ajuda prestada.

Ao Engenheiro João Pedro da PRF, pela disponibilidade em esclarecer qualquer questão existente.

Ao Engenheiro Rui Sousa responsável pela manutenção da frota da Carris, pelo esclarecimento sempre que solicitado sobre qualquer assunto.

Resumo

Os elevados níveis de poluição associados ao consumo de combustíveis fósseis têm vindo a fazer com que se procure alternativas menos poluentes e igualmente viáveis. Um dos combustíveis que atualmente está a começar a ser utilizado no ramo dos veículos pesados é o Gás Natural (GN).

O presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise económica e ambiental relacionada com este combustível, visto que este apresenta baixas emissões de gases que provocam efeito de estufa, mais concretamente o dióxido de carbono.

Foi analisada a rede de abastecimento e as condições requeridas para a instalação de postos de gás natural. Foi também verificada a importância dada ao biogás na atualidade (combustível renovável que apresenta a mesma composição que o GN). Verificou-se que existe grande diversidade de projetos associados a este combustível destinados a promover a sua utilização. Os principais objetivos destes projetos passam por reduzir as emissões de NO_x, de SO_x e de partículas dos veículos a gasóleo, aumentar a competitividade nos setores de tratamento de resíduos.

Realizou-se uma análise económica, onde se verificaram os custos associados a um veículo pesado movimentado a gasóleo e a GN (custo de aquisição e custo de combustível) e uma análise ambiental, onde se verificou as emissões de CO₂ associadas a ambos os veículos.

Nesta análise económica foi possível verificar que não é economicamente viável obter veículos a GN, tanto a nível do custo de aquisição como ao nível do custo de combustível.

Em contrapartida, quando se considera os valores de emissões de CO₂, foi possível confirmar que os veículos a Gás Natural apresentam emissões mais reduzidas do que os veículos a gasóleo.

Palavras-chave: Gás Natural, dual-fuel, Gás Natural Comprimido, emissões.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Abstract

The high levels of pollution associated with the consumption of fossil fuels mean that you get less polluting and similar alternatives. One of the items that is currently starting to be used in the heavy vehicle business is Natural Gas (NG).

This work aims to carry out an economic and environmental analysis with this fuel, since it has low rates of greenhouse gases, more specifically or carbon dioxide.

A supply network and the conditions necessary for the installation of natural gas stations were analyzed. It was also verified the importance given to biologists today (renewable fuel that has the same composition as NG). It was found that there is a great diversity of projects associated with this used fuel to promote its use. The main objectives of these projects are to reduce the use of NO_x, SO_x and the use of oil vehicles, to increase participation in the waste treatment sectors.

It carried out an economic analysis, where the costs associated with a heavy vehicle powered by diesel and NG (acquisition cost and fuel cost) and an environmental analysis were verified, where they were verified as reproduced from CO₂, using both vehicles.

In this economic analysis, it was possible to verify that it is not economically viable to obtain vehicles in the NG, both in terms of the cost of acquisition and in the level of fuel.

On the other hand, when considering the values of CO₂, it was possible to confirm whether vehicles with Natural Gas exhibit more reduction for vehicles with oil.

Keywords: Natural Gas, dual-fuel, Compressed Natural Gas, emissions

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Índice

Originalidade e Direitos de Autor	ii
Agradecimentos	iv
Resumo	v
Abstract	vii
Lista de figuras	x
Lista de tabelas	xi
Nomenclatura.....	xii
1. Introdução.....	1
2. Gás Natural.....	3
2.1. Ciclos termodinâmicos	3
2.2. Gás Natural em Portugal.....	7
2.3. Gás Natural Veicular (GNV)	8
2.4. Normas em vigor para a instalação de postos de abastecimento de GN em Portugal.....	12
2.5. Funcionamento de um posto de GN	15
2.6. Mercado de veículos a Gás Natural	18
2.7. Biometano	22
1.1.1. Produção de Biometano por Adsorção	23
1.1.2. Projeto life landfill biofuel	24
2.8. Gás de Petróleo Liquefeito	25
3. Gás Natural como combustível de motores de combustão interna	26
3.1. Tipos de veículos a Gás Natural	26
3.2. Características motores a Gás Natural	30
3.3. Componentes necessários para veículos a Gás Natural	34
3.4. Controlo e desempenho do motor a Gás Natural	35
3.5. Emissões	36
4. Análise ambiental e económica.....	41
4.1. Análise ambiental	41
4.2. Análise Económica	43
5. Conclusão	45
6. Referências.....	47

Lista de figuras

Figura 1- Ciclo termodinâmico de motores Otto.....	4
Figura 2- Ciclo termodinâmico de motores Ciclo Diesel.....	5
Figura 3- Postos de abastecimento a Gás Natural em Portugal (1).....	8
Figura 4 - Postos de GNC para venda na Península Ibérica (1).....	10
Figura 5- Postos de GNL para venda na Península Ibérica (1).....	10
Figura 6- Novos registos de veículos ligeiros a GN (7).....	11
Figura 7- Conexão Carter.....	15
Figura 8- Conexão Parker Kodiak.....	16
Figura 9- Conexão NGV1 e NGV2 (9).....	17
Figura 10 - Veículo com tecnologia TGI (1).....	20
Figura 11- Modelo Volvo FH (11).....	21
Figura 12- Modelo Volvo FE (11).....	21
Figura 13- Modelo Iveco Stralis (12).....	22
Figura 14-Modelo Iveco Eurocargo (13).....	22
Figura 15- Método de tratamento de biogás (adsorção por diferença de pressão) (16) .	23
Figura 16- Armazenamento de GNC em veículos antigos (22).	27
Figura 17-Armazenamento de GNC em veículos atualmente (23).	27
Figura 18- Injetor de Gás Natural (45).....	34
Figura 19- Circuito de combustível num veículo (26).....	36

Lista de tabelas

Tabela 1 -Motores de veículos ligeiros a operar a Gás Natural (1).....	19
Tabela 2 - Dados retirados de uma análise aos motores dual fuel (25).....	29
Tabela 3- Propriedades dos combustíveis (31).....	38
Tabela 4- Dados retirados do artigo (29) para comparação de emissões do gás natural com o gasóleo e a gasolina.	39
Tabela 5- Tabela de consumos de autocarros em 2018.....	43

Nomenclatura

GN	Gás Natural
GNL	Gás Natural Liquefeito
GNC	Gás Natural Comprimido
GNV	Gás Natural Veicular
GPL	Gás de Petróleo Liquefeito
NO _x	Óxidos de Azoto
SO _x	Óxidos de Enxofre
O ₂	Oxigénio
H ₂	Hidrogénio
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
MCI	Motores de combustão interna
Rpm	Rotações por minuto
VAG	Grupo Volkswagen AG
µm	Micrómetro
ms	Milissegundo
Nm	Newton-metro
kg	quilograma
λ	Mistura entre ar e combustível de um motor de combustão interna
BSFC	Consumo específico do motor
LIN	Sistema de Azoto líquido

1. Introdução

Atualmente a indústria automóvel utiliza maioritariamente os combustíveis fósseis clássicos, gasóleo e gasolina, como principal fonte energética para os veículos que produz.

Um dos problemas que a sociedade tenta combater há vários anos e que, em grande parte, resulta da utilização dos referidos combustíveis, é o efeito de estufa. O efeito de estufa define-se como a capacidade de reter a radiação recebida do Sol sem que esta se dissipe para o espaço. Apesar do efeito de estufa ser um fenómeno crucial para manter a vida no nosso Planeta, a utilização excessiva de combustíveis fósseis pelo Homem leva a um aumento deste efeito provocando o aumento da temperatura de toda a Terra e, conseqüentemente, a alterações em todos os ecossistemas existentes. Isto acontece, em grande parte, pela libertação para a atmosfera de gases, em particular do dióxido de carbono (CO_2). Ao utilizar combustíveis alternativos, menos poluentes, haverá uma diminuição deste fenómeno com um impacto ambiental importante.

Para reduzir a dependência dos combustíveis mais tradicionais (gasolina e gasóleo), é importante que se encontrem ou desenvolvam combustíveis alternativos capazes de os substituir. Neste contexto, a utilização de Gás Natural como combustível alternativo para motores de combustão interna (MCI), já em prática desde 1920, é uma solução cada vez mais equacionada para uso generalizado.

Este combustível possui uma combustão praticamente homogénea, o que leva a baixas emissões de partículas e emissões de CO_2 bastantes reduzidas. No caso particular dos motores de ciclo Otto, a utilização de GN, em alternativa à gasolina, permite reduzir as emissões de CO_2 em 25% e as emissões de Óxidos de Nitrogénio (NO_x) até 85 % (1).

O Gás Natural é considerado uma fonte de combustível limpa e tem a particularidade de poder ser abastecido, tanto em estado líquido, como gasoso. É formado pela decomposição de combustíveis fósseis que foram ficando depositados ao longo dos anos no solo. Existe ainda a possibilidade de obter este combustível através da decomposição dos detritos existente em aterros, o **biogás**, sendo neste caso considerado uma fonte de energia renovável.

A produção de biogás ocorre em qualquer local submerso onde o oxigénio não consiga penetrar, proporcionando assim condições de fermentação anaeróbia (sem Oxigénio (O_2)) ou decomposição anaeróbica, em que as bactérias anaeróbicas, que não se desenvolvem na presença de O_2 são responsáveis pela produção de metano.

Quando o biogás apresenta uma elevada quantidade de metano, pode ser aproveitado sem que seja sujeito a nenhum tipo de tratamento, podendo ser inserido na rede doméstica de gás, ou ser utilizado para abastecimento de MCI, após a sua compressão.

Outros combustíveis alternativos que estão a ser utilizados em veículos são a eletricidade e o Gás de Petróleo Liquefeito (GPL).

Os veículos elétricos trazem diversas vantagens quando comparados com os veículos com MCI, como por exemplo não terem emissões de CO₂, a manutenção e o abastecimento são mais económicos e ainda, em vários países, benefícios fiscais (em Portugal estão isentos do pagamento do Imposto Único de Circulação). Em contrapartida, apresentam baixas autonomias, as baterias são bastante dispendiosas e com curto tempo de vida útil.

Os veículos a GPL apresentam um baixo custo do combustível, menos poluição do que com os combustíveis clássicos e menor desgaste do motor. Existe a possibilidade de adquirir veículos novos que se movimentam com este combustível, mas também é possível alterar um veículo que opere a ciclo Otto para utilizar também GPL como combustível.

O presente projeto tem como finalidade realizar uma análise ambiental e económica na utilização de Gás Natural como combustível para automóveis. Irá ser realizada uma análise global à utilização de Gás Natural de forma a identificar onde já é utilizado este combustível, e futuramente onde pode vir a ser utilizado. Ainda neste capítulo, irá ser explicada sucintamente o funcionamento de um posto de abastecimento deste combustível e as normas em vigor para a construção destes em Portugal.

No presente trabalho irá ser analisado algumas das opções de veículos presentes no mercado com utilização de Gás Natural. É possível verificar que já existe um investimento acentuado de diferentes marcas de veículos para a utilização deste combustível através dos diversos modelos existentes.

Uma das vertentes mais importante deste combustível é o biogás, ou seja, uma energia renovável obtida em aterros, e em que a sua composição, é bastante semelhante à do GN. Será analisado alguns dos projetos atuais que consistem na utilização deste biogás.

Outro capítulo que irá ser analisado são as diferenças existentes nos motores que utilizam este combustível e os diferentes componentes nele existentes.

Após proceder a esta análise será realizada uma análise ambiental e económica aos veículos movidos a GN de forma a perceber se é rentável ou não a sua utilização quer a nível monetário, tanto a nível de poluentes libertados para a atmosfera.

2. Gás Natural

O GN é uma das fontes de energia menos poluente, podendo ser designado por uma fonte de combustível fóssil limpa (1).

Este GN pode ser obtido de duas formas:

- Pela decomposição de vegetais e animais que ficam soterrados e são submetidos a altas temperaturas e pressões ao longo de milhares de anos (gases termogénicos);
- Por biomassa resultante da decomposição existente em aterros sanitários (gases biogénicos).

O GN para uso veicular pode ser comercializado no estado líquido - Gás Natural Liquefeito (GNL) - e no estado gasoso - Gás Natural Comprimido (GNC).

O processo de produção de GNL, é essencialmente a redução da sua temperatura até à sua condensação, que ocorre a cerca de -163°C à pressão atmosférica. Devido a este facto, o transporte deste combustível tem de ser efetuado em tanques criogénicos, que suportem temperaturas inferiores a -150°C . A cada abastecimento deste combustível é fornecido ao comprador um certificado de qualidade do GNL que garante baixos níveis de emissão e a isenção total de contaminantes após a sua queima.

Quanto ao GNC, é constituído maioritariamente por hidrocarbonetos do metano e etano.

Este combustível pode ser utilizado em veículos equipados com motores Otto ou Diesel. No caso dos motores Otto, a gasolina pode ser 100% substituída por GNC, enquanto que nos motores Diesel, tem obrigatoriamente de usar uma percentagem de gasóleo (motores dual-fuel).

2.1. Ciclos termodinâmicos

Um motor que opere a GN funciona como qualquer motor Otto. O ciclo termodinâmico ideal (sem que ocorram perdas), tem por base um ciclo termodinâmico que demonstra as variações de pressão, volume e temperatura que ocorrem numa massa de gás. O ciclo ideal termodinâmico que explica o funcionamento do ciclo Otto, tem por base o diagrama de Pressão -Volume ilustrado na **Figura 1**.

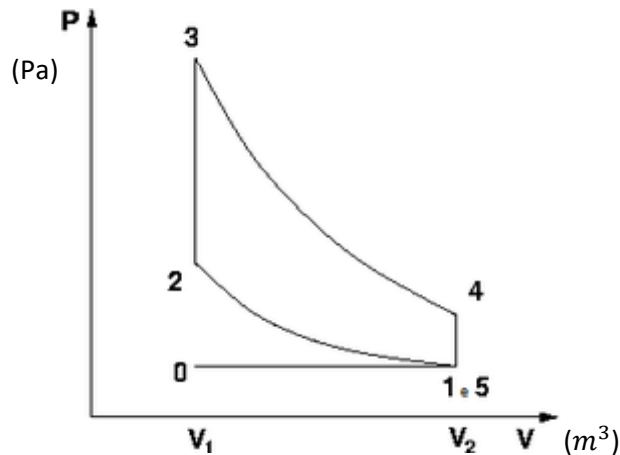


Figura 1- Ciclo termodinâmico de motores Otto

Neste gráfico não são contabilizadas as perdas de energia mecânica nem perdas de energia por calor, por isso se denomina ciclo ideal. Considera-se a entrada da massa de ar a uma pressão constante.

A maior diferença existente entre o ciclo real e ideal está relacionada com o facto de, no ciclo termodinâmico ideal se considerar que existe uma compressão e uma expansão adiabática e processos de trocas de calor sem geração de entropia (isentrópicos).

No ciclo termodinâmico ideal existem diversas considerações que não podem ser tomadas para o ciclo real.

O ciclo de Otto real, aplicado a um motor mais comum (4 tempos), possui 4 fases por ciclo para realizar a combustão.

Na primeira fase (admissão) o ar entra para dentro da câmara de combustão e o pistão move-se do ponto morto superior (PMS) para o ponto morto inferior (PMI) através do ar que entra pela válvula de admissão (2).

A segunda fase acontece quando a válvula de admissão fecha uma vez que o cilindro já está no PMI, e é onde este comprime o ar misturado com o combustível que entrou na câmara de combustão desde o PMI ao PMS e denomina-se fase de compressão.

Na terceira fase o combustível, que é prémisturado com o ar já comprimido, explode com o auxílio de uma fonte de ignição externa (normalmente uma faísca). Esta explosão faz com que o pistão se mova do PMS ao PMI e origina trabalho (potência) que irá ser transmitida aos restantes componentes dos veículos responsáveis pelo movimento deste. Denomina-se fase de expansão.

Na última fase o cilindro liberta os gases queimados pela válvula de escape através do movimento do pistão de novo para o PMS, denomina-se fase de escape.

No caso de motores alimentados com GN, também é possível usar o ciclo de Miller.

O ciclo de Miller é também conhecido como ciclo de 5 tempos uma vez que, além das convencionais (admissão, compressão, expansão e escape,) apresenta um quinto tempo em que ocorre a compressão com a fase de admissão aberta. Neste ciclo, quando o pistão se desloca do PMI para o PMS a válvula de admissão é aberta em cerca de 20 a 30% da sua compressão, permitindo assim que o pistão encontre menos resistência à sua subida para a compressão da mistura ar + combustível, diminuindo algumas perdas.

Este ciclo apresenta uma diminuição da potência específica do conjunto, mas, ao utilizar um turbo ou um compressor mecânico permite que a admissão possua uma pressão mais elevada otimizando a combustão. Caso este ciclo não possua nenhum destes componentes para aumentar a pressão na admissão, é denominado de Atkinson e não é utilizado em veículos a GN.

O ciclo de Miller é idêntico ao ciclo de Otto, em que a diferença está na fase de expansão, que é mais longa do que a compressão. Este fator faz com que aconteça a sobre expansão dos gases de escape devido ao facto das válvulas de admissão fecharem mais tarde.

Este ciclo diferencia-se do ciclo de Otto na medida em que, parte da fase de compressão é realizada com a válvula de admissão aberta.

No caso dos motores a gásóleo e GN (regime dual-fuel), a queima do combustível é realizada através da ignição por compressão. Na **Figura 2** pode-se observar uma representação do ciclo termodinâmico Diesel ideal.

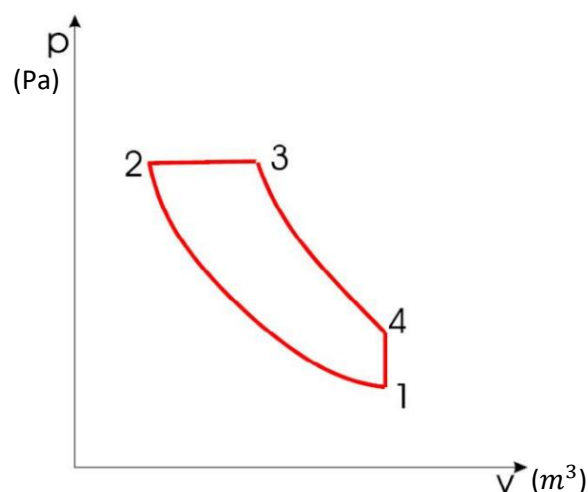


Figura 2- Ciclo termodinâmico de motores Ciclo Diesel

Neste ciclo é importante de referir que, existe uma compressão e expansão isentrópica (sem transferência de calor). Também é composto por um processo a pressão constante, onde a obtenção de energia é feita a volume constante (2).

Os motores a gasóleo não apresentam ignição externa para iniciar a combustão. A inflamação do combustível é obtida através da compressão do combustível e do ar.

As temperaturas e pressões elevadas no final do processo de compressão (temperaturas acima dos 600°C e pressões acima dos 100 bar) em motores turbo alimentados auxiliam a estabilidade necessária na queima que ocorre no interior do motor.

Quando se analisam as características do injetor para um motor a gasóleo, este possui um orifício entre os 120 e 150µm (micrómetro). O combustível, quando injetado na câmara de combustão dispersa-se pelo espaço disponível misturando-se com o ar.

Atualmente, nos motores que funcionam a gasóleo, 80% da turbulência necessária para iniciar a inflamação é obtida pela injeção deste combustível. Por este motivo, a injeção direta nestes motores tem sido cada vez mais utilizada.

A combustão nestes motores inicia-se por ignição por compressão, sendo altamente dependente de três fatores conhecidos como a inflamabilidade do combustível, a pressão do cilindro e a temperatura deste no momento da ignição.

Quando o motor trabalha a frio é necessário um maior avanço à injeção. Este avanço pode variar entre os 10ms (milissegundos) num motor a frio e os 0,1ms na sua utilização normal. No caso dos motores a frio, como a ignição demora mais tempo, o combustível tem mais tempo para se misturar com o ar.

O início da combustão dá-se junto ao injetor, onde se propaga numa reação em cadeia. Esta reação acontece com temperaturas a partir acima dos 600°C, temperaturas essas provocadas pela pressão da compressão (2).

Nestes motores, a combustão é controlada pela mistura dependendo da quantidade de combustível injetado. A taxa de compressão também é influenciada pelo processo de injeção. As pressões e temperaturas são influenciadas pela razão de ar/combustível, onde a admissão de ar influencia a obtenção da alta turbulência. Quanto maior a turbulência em que o ar entra no motor maior o rendimento obtido pela compressão no motor.

Por outro lado, se existir um grande aumento da pressão a combustão é iniciada mais cedo e a mistura não tem tempo de se propagar em toda a câmara de combustão.

Quando o combustível é vaporizado no PMS causa um arrefecimento maior no motor. O resultado é um atraso da ignição muito prolongado. Em casos extremos, o motor pode não ter condições para iniciar a ignição por compressão e o combustível ficar retido na

câmara de combustão por vários ciclos do motor. Este fator pode levar a pressões muito elevadas (acima de 150bar). Um dos fatores que pode prevenir este acontecimento é o pré-aquecimento da câmara de combustão (2).

Ao analisar as emissões dos motores a gasóleo, é pertinente referir que os poluentes mais preocupantes são o monóxido de carbono (CO), NO_x e partículas ou fuligem.

A diferença entre as partículas e a fuligem consiste no facto de que, a fuligem são iões de carbono puro enquanto que, nas partículas também existe combustível que não foi queimado na combustão, vestígios de óleos utilizados para lubrificação do motor e turbo (no caso de motores turboalimentados), cinzas, etc.

Ao realizar a combustão com pressões de combustíveis mais baixas aumenta a quantidade de O₂ por ciclo e provoca um aumento nas emissões de fuligem. Estas podem ser obtidas pelo aumento das concentrações de combustíveis na câmara de combustão devido ao atraso da ignição.

Os NO_x podem ser reduzidos se for garantido que não se obtêm temperaturas muito elevadas durante a combustão. Este fator pode ser controlado através de pressões de injeção mais reduzidas ou até pelo atraso à ignição (2).

2.2. Gás Natural em Portugal

Em Portugal o GN é gerido pelo Sistema Nacional de Gás Natural (SNGN) que consiste no conjunto de infraestruturas de serviço público que recebem, armazenam, gaseificam e distribuem este combustível.

Este serviço é realizado por várias conceções ao longo do país, sendo elas: Duriensegás, Beiragás, Lusitaniagás, Lisboagás, Setgás, Dianagás, Paxgás e Medigás.

Os principais componentes deste sistema são a rede nacional de transporte (gasoduto), a rede de distribuição de GN (rede primária e secundária), as Unidades Autónomas de Gás (UAG), instalações de armazenamento subterrâneo e terminais de GNL. A construção, gestão e manutenção destas infraestruturas é realizada por operadores da rede de distribuição de cada área de concessão.

Existem aproximadamente 1,3 milhões de consumidores de GN em Portugal (3).

A rede primária de GN é o conjunto de tubagens construídas em aço que garante o transporte de gás desde o gasoduto principal até aos arredores das grandes cidades ou zonas industriais. A pressão de funcionamento varia de 16 a 20 bar.

A rede secundária (ou rede de distribuição) dá-se quando o gás proveniente de uma rede primária passa num posto de regulação e medida. Normalmente esta rede é construída em polietileno (material termoplástico), e é instalada perto dos edifícios que irão consumir este combustível de forma a garantir o fornecimento de GN. A pressão de funcionamento pode variar entre os 0,5 a 4 bar (4).

Um Posto de Regulação e Medida (PRM) é constituído por um conjunto de equipamentos que possibilitam o controlo dos regimes de pressão entre as redes primárias e as redes secundárias e onde se pode monitorizar o sistema de distribuição de gás.

Uma UAG é o local onde se procede ao armazenamento de gás que permite abastecer redes de distribuição ou clientes que possuam um alto consumo de gás e que não se encontrem nas proximidades de uma rede de Gás Natural. O abastecimento destas é realizado por camiões cisterna (4).

2.3. Gás Natural Veicular (GNV)

Em Portugal, existem 10 postos de GN para abastecimento público situados em Braga, Porto, Matosinhos, Loures, Azambuja, Carregado, Santa Maria da Feira, Vila Real, Elvas e Mirandela (1).

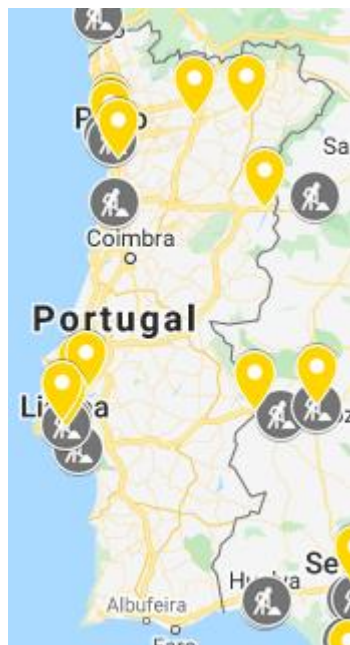


Figura 3- Postos de abastecimento a Gás Natural em Portugal (1)

A nível nacional as empresas ganham diversos benefícios fiscais ao utilizar veículos bi-fuel tais como (5):

- Redução do Imposto Sobre Veículos (ISV) em 40%
- Redução na tributação para 7,5%, 15% e 27,5% em cada um dos três escalões, em vez de 10%, 27,5% e 35%.
- Dedução de 50% do IVA pago na aquisição de viaturas até 37 500 euros
- Dedução de 50% do IVA do GPL/GNV, tal como no gasóleo
- Dedutibilidade de gastos com depreciações até 9375 euros/ano
- Redução do IUC

No ano de 2019, em Portugal, foram matriculados 359 carros a GN. Face ao ano anterior, foi registado um aumento de 91%, obtendo assim cerca de 752 veículos em circulação com este tipo de combustível. O maior aumento foi verificado no setor dos pesados de passageiros (cerca de 136%) foram feitas 232 matrículas novas. Este aumento pode ser explicado pelo investimento de empresas como a da Sociedade de Transportes Coletivos do Porto (STCP), Carris-Transportes Públicos de Lisboa e Transportes Coletivos do Barreiro (TCB).

Nos veículos comerciais (ligeiros de mercadorias) existiu um aumento de 59% enquanto que nos ligeiros de passageiros se verificou uma subida de 63% (6).

Nas **Figura 4** e **Figura 5** é possível verificar os postos de abastecimento de GNC e GNL já existentes e os que se encontram em fase de construção em Portugal e Espanha (Península Ibérica).



Figura 4 - Postos de GNC para venda na Península Ibérica (1)

Atualmente já existem cerca de 91 postos de abastecimento de GNC na Península Ibérica (80 em Espanha e 11 em Portugal) e 37 postos em fase de projeto/construção (32 em Espanha e 5 em Portugal) (1).



Figura 5- Postos de GNL para venda na Península Ibérica (1)

Existem cerca de 56 postos de abastecimento de GNL na Península Ibérica (49 em Espanha e 7 em Portugal) e 31 postos em fase de projeto/construção (26 em Espanha e 5 em Portugal) (1).

O número de postos de abastecimento de GN na Europa também aumentou com 3792 estações de GNC e 249 a GNL. O maior aumento foi registado na Itália onde foram construídas 1315 estações de GNC e 58 de GNL.

A nível da União Europeia, de acordo com a *Natural Gas Vehicle Association* (NGVA), em 2019 foram matriculados na Europa cerca de 87.420 veículos a GN com a seguinte distribuição (7):

- 69.900 veículos ligeiros
- 8.910 comerciais ligeiros
- 1.980 autocarros
- 2.120 camiões a GNC
- 4.510 camiões a GNL

A **Figura 6** representa os novos registos de veículos ligeiros de passageiros a GN realizados em 2019 na Europa.

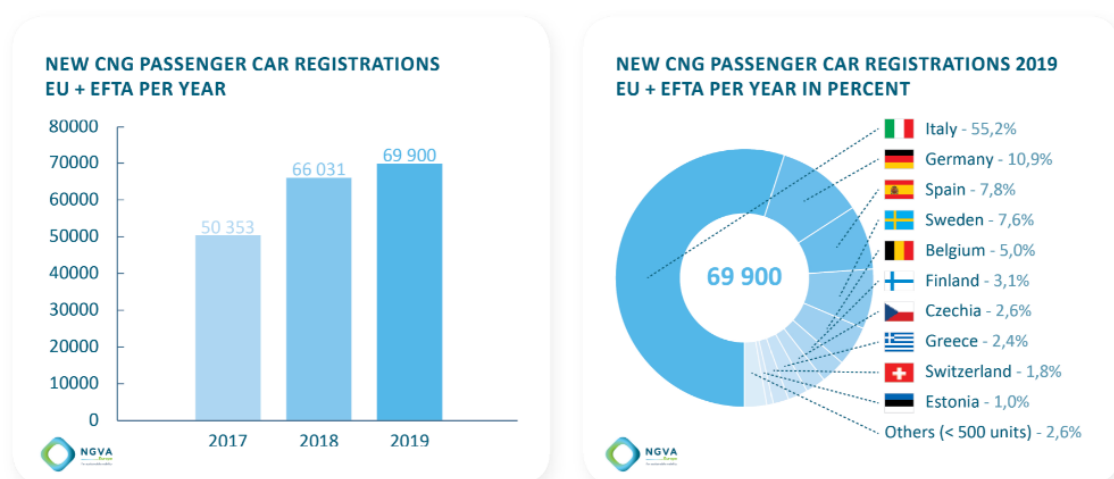


Figura 6- Novos registos de veículos ligeiros a GN (7)

Como referido anteriormente, foram registados 69900 veículos ligeiros de passageiros no ano de 2019. Comparativamente ao ano de 2018 foi verificado um aumento de 5,5% e comparativamente ao ano de 2017 um aumento de 28% (7).

O país com maior número de novos registos foi a Itália, que apresenta 55,2%, ou seja, mais de metade das matrículas realizadas no ano de 2019. De frisar ainda que países como a Alemanha, Espanha e Suécia também apresentam aumentos significativos.

2.4. Normas em vigor para a instalação de postos de abastecimento de GN em Portugal

Em Portugal, a construção de postos de tem de obedecer a seguinte legislação:

Portaria 1270/2001 – Reg. Seg. relativo ao projeto, construção, exploração e manutenção de postos de enchimento de GNC.

- DL8/2000 Linhas orientadoras para a exploração postos GNL/postos de enchimento
- DL137/2006 – Condições em que o GN é admitido como combustível em automóveis
- DL298/2001 – O GNC é admitido como combustível para automóveis
- DL468/2002 – Atribuição de licenças para a exploração de postos de enchimento de GNC
- DL13/2002 – Níveis de emissões de motores Diesel, GNC e GPL

Distâncias de segurança de postos de abastecimento Gás Natural

DISTÂNCIAS DE SEGURANÇA [metros]	
Instalação de armazenagem, compressores e as unidades de enchimento e os reservatórios e as unidades de abastecimento de combustíveis líquidos	5
Instalação de armazenagem, instalação de compressores, unidades de enchimento e os equipamentos auxiliares e a via pública	3
Instalação de armazenagem, instalação de compressores, unidades de enchimento e os equipamentos auxiliares e a as vias-férreas ou rodovias	15
Armazenagem e quaisquer materiais combustíveis	3
Distancia entre equipamentos elétricos e qualquer edifício, linha divisória de propriedade, vias de circulação interiores e fogos nus	3
Unidades de enchimento /unidades de abastecimento de outros combustíveis	*
Instalação de armazenagem/armazenagem de outros combustíveis	5
Instalação de armazenagem / unidade de abastecimento de outros combustíveis	5
Instalação de armazenagem / abertura dos edifícios integrados	3
Instalação do compressor / unidades de enchimento	3

*(função dos requisitos das zonas classificadas) (8)

ZONAS CLASSIFICADAS [metros]			
		zona 1	zona 2
Instalação de Compressão	ar livre	0,5	1,5
	contentores	3	3
	abertura ao exterior de uma zona 1	-	2
Instalação de Armazenagem	ar livre	-	3
	contentores	3	3
	abertura ao exterior de uma zona 1	-	2
Unidade de Enchimento	interior do corpo da unidade (zona 2)		
	Pistola enchimento		1
Respiradouros	Zona 1 - cilindro com 1 mt de raio e 2 mt de diâmetro		
	Zona 2 - cilindro exterior, concentrico com 3,5 mt de raio e 7 mt de altura, sendo a base do cilindro situada 1 mt abaixo do topo do respiradouro		
Linhas Eléctricas - dist. entre a projecção horizontal e as zonas classificadas	Linhas de baixa tensão - 3 mt		
	Linhas de alta tensão - 15 mt		

(8)

DISTÂNCIAS MINIMAS AO RESERVATÓRIO GNL [metros]					
	V - Capacidade unitária dos reservatórios (m3)				
	0,45<V≤5	5<V≤20	20<V≤60	60<V≤200	200<V≤300
Edifícios habitados	7,5	10	12,5	15	15
Edifícios ocupados	5	10	15		
Fogos e equipamentos eléctricos	5	10			
Depósitos de materiais inflamáveis aéreos	5	10			
Depósitos de materiais inflamáveis subterrâneos	5				
Vias publicas, estradas e caminhos de ferro	5	10	15	25	30
Instalações com perigo de incêndio	8	10	15	25	30
Chamas controladas	7,5	10	15	25	30
Projecção vertical mais próxima de linhas eléctricas	8	15			

(8)

Distâncias de Segurança Postos de Abastecimento GNC/GNL

DISTÂNCIAS DE SEGURANÇA AOS VAPORIZADORES [metros]			
	Capacidade Vaporização (Kg/h)		
	C ≤ 50	50<V≤200	C>200
A edificações interiores ao perímetro da instalação industrial	1	3	7,5
A edifícios, linhas divisórias de propriedade, vias publicas, fogos nus, equipamento eléctrico não antideflagrante e produtos inflamáveis	3	7,5	15

2.5. Funcionamento de um posto de GN

Os postos de GNV podem ser de GNL e GNC ou apenas de um destes combustíveis. Por questões de segurança a instalação de um posto de GNV exige uma vedação com áreas de segurança devidamente identificadas. Normalmente existe uma “bacia” (área delimitada por um muro com uma altura definida de modo a que consiga reter todo o volume de GN existente no reservatório). O sistema gasoso também tem delimitação, mas não necessita de ter qualquer bacia uma vez que se existir alguma fuga o gás vai diretamente para a atmosfera.

Para o abastecimento de GNL, é necessário que ocorra um arrefecimento de todos os envolventes neste processo (tubagens, *dispensers*, etc). Este abastecimento pode ser realizado com recurso a uma bomba que faz movimentar o GN ou então apenas por diferença de pressão (o gás move-se no sentido de igualar as pressões existentes entre o camião e o reservatório de GNL).

Visto que, para o GN estar no estado líquido, tem de se encontrar a temperaturas muito baixas (-163°C), qualquer interveniente num abastecimento deve recorrer à utilização de luvas e avental criogénico.

Existem dois métodos de abastecimento. O método utilizado na Europa designa-se por conexão Carter.

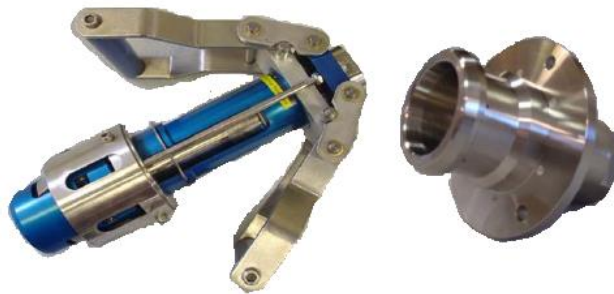


Figura 7- Conexão Carter

Na Figura 7 pode-se observar o bocal existente na mangueira para realizar esta conexão.

Na América existe outro tipo de bocal designado por conexão Parker Kodiak, **Figura 8.**



Figura 8- Conexão Parker Kodiak

Na Europa existem dois métodos de abastecimento distintos, sendo estes:

-Método utilizado nos veículos do grupo Volvo

-Método utilizado nos veículos do grupo Iveco

No primeiro método utiliza-se apenas uma mangueira para proceder ao abastecimento. Inicialmente, a maioria da parte gasosa existente no depósito do camião é transferido para o tanque de GNL, de forma a reduzir ao máximo a pressão existente no depósito do veículo. Quando a pressão existente neste depósito é mínima inicia-se o abastecimento de GNL pelo mesmo bocal. Neste caso os dispositivos existentes no veículo que estão a fazer o abastecimento regulam se o GN deve ser abastecido para a parte superior ou inferior do depósito. Isto é bastante importante, de forma a regular a pressão do depósito e conseqüentemente abastecer mais combustível.

Por outro lado, a tecnologia utilizada nos veículos do grupo *Iveco* permite que seja o próprio *dispenser* a regular o abastecimento. É denominado de *dispenser* ao equipamento que tem as mangueiras de abastecimento. Para isso, é necessário acoplar duas mangueiras ao veículo. A primeira mangueira tem a finalidade de receber GNL e a segunda para enviar a parte gasosa do depósito do veículo. Devido a este fator, a diferença de pressão pode ser ajustada durante o abastecimento, enquanto que no outro caso isto não acontece.

Na estação existem três tubagens entre os veículos e o reservatório, sendo estas o envio de GNL, o retorno de GNL e retorno de GN no estado gasoso para o tanque. Estas ligações são indispensáveis uma vez que, para este abastecimento ser eficiente é necessário que o sistema de abastecimento possa controlar as diferenças de pressão entre estes dois objetos.

Para um sistema de abastecimento de GNC é necessário também um reservatório normalmente com GN no estado líquido, elementos que comprimam e vaporizem o gás.

Regra geral, existe uma bomba que comprime o GNL, aumentando a pressão. É necessário a existência de vaporizadores à saída deste equipamento de forma a certificar que, no sistema de gás comprimido não chega GNL. Após a saída deste vaporizador, existem desde sondas de temperatura, válvulas pneumáticas a válvulas de pressão máxima de forma a que seja detetado alguma irregularidade existente neste processo.

De forma a que o abastecimento de GNC seja um processo mais agilizado é comum utilizarem armazenagens para este. Estas armazenagens têm como principal objetivo não ser necessário comprimir gás para cada abastecimento realizado. Assim, a bomba de compressão só precisa de entrar em funcionamento quando estas armazenagens apresentam pressão baixa.

Para o abastecimento de GNC podem ser utilizados dois tipos de bocais distintos, dependendo dos veículos a abastecer.

Os tipos de bocais são:

- NGV1 - normalmente usados para veículos ligeiros (até 35Kg/min \pm 50m³/min);
- NGV2 - normalmente usados para veículos pesados (até 70Kg/min \pm 100m³/min).

Na Figura 9 é possível verificar os dois tipos de bocais.



Figura 9- Conexão NGV1 e NGV2 (9)

O GNL tende a vaporizar à temperatura e pressão ambiente. A vaporização provoca o aumento da pressão no reservatório onde este se encontra armazenado e, conseqüentemente, a sua libertação para a atmosfera por questões de segurança. De forma a que o GN não seja enviado para atmosfera quando aumenta a pressão existem duas formas de o reaproveitar:

- Através de um Sistema *Boiloff*;
- Utilização de um Sistema *Liquefiel Nitrogen (LIN)*.

O sistema *boiloff* consiste no reaproveitamento de gás que iria ser libertado para a atmosfera e, deste modo é vendido como GNC.

Quando existe um sistema *boiloff* num posto de abastecimento, e o tanque de GNL aumenta a sua pressão, existe uma determinada quantidade de GN no estado gasoso que é enviada para este sistema *boiloff* invés de ser enviado para a atmosfera. Em regra geral, este sistema possui três componentes sendo estes um vaporizador, um reservatório e um compressor.

Ao sair do reservatório, o GN passa por um vaporizador de forma a certificar que a partir deste ponto o gás encontra-se apenas estado gasoso nas tubagens. Posto isto, é armazenado num reservatório até que exista uma percentagem de gás considerável. Quando o reservatório contiver uma quantidade de gás definida, o gás é transferido para um compressor, onde é comprimido e irá ser vendido como GNC.

Por outro lado, pode ser utilizado um Sistema LIN. Este sistema consiste na instalação prévia de um reservatório de azoto líquido em que, caso a pressão no tanque de GNL aumente, o azoto entra em circulação numas tubagens próprias no reservatório de forma a arrefecê-lo.

Este sistema permite menos gastos desnecessários de GN para a atmosfera, mas em contrapartida, é um sistema com um custo mais elevado. Para além de ser necessária, a aquisição de outro reservatório criogénico e conseqüentemente ligações entre os dois tanques, o tanque de GN também tem de ser previamente preparado para a passagem de azoto neste.

2.6. Mercado de veículos a Gás Natural

Um dos aspetos mais significativos na utilização de GN é que a sua obtenção apresenta custos reduzidos. Hoje em dia, o preço bastante elevado da gasolina e do gasóleo provoca o investimento em veículos movimentados a combustíveis alternativos.

Apesar do GN ter a particularidade de necessitar de ser comprimido ou mantido no estado líquido, e possua uma menor eficiência térmica, os benefícios económicos continuam a ser mais elevados quer a nível do preço unitário por kg, quer a nível fiscal como referido no capítulo 2.3.

O GN para uso em veículos é um combustível que traz vantagens para qualquer finalidade, podendo ser utilizado quer a nível particular quer a nível profissional (veículos de transporte de pessoas ou mercadorias). Um dos aspetos mais importante é que 1kg de

deste combustível possui aproximadamente a mesma quantidade de energia do que 1,3 litros de gasóleo e 1,5 litros de gasolina (7). Outro aspeto muito importante é a presença de características muito semelhantes ao biometano, que pode ser produzido a partir de resíduos e biomassa ou de gás sintético (obtido através da energia eólica e solar). Ao utilizar este gás renovável, é possível aos veículos movimentarem-se com emissões de carbono próximas do zero, sem qualquer impacto na infraestrutura e na tecnologia utilizada no veículo.

Atualmente, já existem inúmeras versões de veículos novos a trazer motores que operam a GN mas, para além disso, hoje em dia é possível converter qualquer veículo com MCI para operar a GN.

Caso se pretenda converter um veículo para poder consumir GNC os valores rondam entre os 3500€ + IVA num ligeiro e 11000€ + IVA num pesado. De frisar que quando os veículos estão equipados para a utilização de gasóleo, só é possível utilizar o motor como dual-fuel, tendo que utilizar sempre uma percentagem de gasóleo.

Caso se pretenda converter um pesado para a utilização de GNL os custos de conversão vão para valores a rondar 15000€ + IVA.

Na Tabela 1 é possível verificar alguns modelos de veículos ligeiros novos com possibilidade de trazer motores a GNC.

Tabela 1 -Motores de veículos ligeiros a operar a Gás Natural (1)

Veículo	Cilindrada (cm ³)	Potência (cv/kW)	Consumo GNC (kg/100km)	Autonomia GNC (km)
1.0 TGI	1000	68/50	3	360
1.5 TGI (ou G-Tron)	1500	130/96	3,3	400
2.0 G-Tron	2000	170/125	4,1	415
Fiat New Panda	900	80/63	3,2	360
Fiat Qubo 1.4	1400	77/57	4,9	320
Fiat Doblo 1.4	1400	120/88	4,0	330

As três primeiras versões são as propostas que o grupo VAG tem no mercado. Os modelos TGI são vendidos em carros como *Seat MII, Ibiza, Arona* ou *Leon, Skoda Octavia, Volkswagen Polo* ou *Golf*.

A tecnologia utilizada para o desenvolvimento destes motores baseia-se no motor 1.4 TFSI, em que as únicas alterações realizadas foram a adaptação da cabeça do motor, do sistema de injeção de combustível, o turbo e o catalisador de gases de escape, necessárias de forma a permitirem a utilização deste combustível. Caso termine o GNC no reservatório do veículo, o sistema altera-se automaticamente para consumir gasolina.

No caso do *Audi A3 1.5 G-Tron*, apresenta uma autonomia de 400 km realizando um consumo de 3,2kg/100km.

Para os seus veículos ligeiros, a *Fiat* também apresenta 3 motorizações que são possíveis de funcionar com GN apresentando consumos e autonomias idênticas aos veículos apresentados pelo grupo *VAG*.



Figura 10 - Veículo com tecnologia TGI (1)

No ramo dos ligeiros de mercadorias, os veículos a GN utilizam os mesmos motores que os ligeiros, como é o caso das *Fiat Forino*, *Fiat Dobló* e as *Volkswagen Caddy*.

Nos veículos pesados de mercadorias, já existem diversas opções no que diz respeito a motores a GN, vindo elas da *Volvo trucks*, *Iveco* ou *Scania*.

A *Volvo trucks* apresenta 3 motorizações a GN, nos modelos FH (a GNL) e FE (a GNC). O primeiro modelo, FH, destinado a viagens de transportes de mercadorias de longo curso, reduzindo os custos associados aos combustíveis e reduzindo as emissões. A *Volvo* apresenta duas versões, uma com 420cv (2100 Nm) e outra com 460cv (2300Nm), e depósitos que podem ir dos 115, 155 ou 205kg. No modelo FE, o motor apresenta 320cv e um binário de 1356 Nm podendo ter uma capacidade de armazenamento de combustível de 88kg ou 117kg (1).



Figura 11- Modelo Volvo FH (11)



Figura 12- Modelo Volvo FE (11)

Na Figura 11 e Figura 12 observa-se o modelo FH desenvolvido para transporte de mercadorias de longo curso e o modelo FE que, sendo um caminhão rígido, utilizado para viagens de curto/medio curso.

Na *Scania* existem, também três versões variando a sua cilindrada entre os 9300cc e os 12700cc e potências dos 280, 340 ou 410cv dependendo se são veículos destinados ao longo curso ou a curto/médio curso.

É possível verificar que a *Iveco* é a marca que oferece mais soluções de motores a GN, sendo considerada a marca líder no mercado em veículos movidos com este combustível. Esta marca é a única que tem a capacidade de oferecer uma variedade imensa de veículos tanto a GNC como a GNL. Nos veículos pesados de mercadorias, a *Iveco* tem modelos como a *Eurocargo* a utilizar gás comprimido e a *Stralis*, a utilizar gás liquefeito. O modelo que se movimenta a GNC apresenta uma potência de 204cv e tem um armazenamento que pode variar de 70 a 140kg. No modelo *Stralis* existe uma versão com 400cv e outra com 460cv, com uma cilindrada respetivamente de 8700cc e 12900cc.



Figura 13- Modelo Iveco Stralis (12)



Figura 14-Modelo Iveco Eurocargo (13)

Na Figura 13 e na Figura 14 observa-se o modelo *Stralis* desenvolvido para transporte de mercadorias de longo curso e o modelo *Eurocargo* que, sendo um camião rígido, pode ser utilizado para viagens de curto/médio curso.

2.7. Biometano

O biogás é obtido pela decomposição de matéria orgânica proveniente de plantas e animais. O biogás apresenta uma composição de 60% de metano e 40% de dióxido de carbono. Este combustível é considerado uma fonte de energia renovável.

Esta fonte de combustível é proveniente da decomposição de plantas e resíduos agrícolas ou dos excrementos de animais (14).

É denominado biometano ao biogás, caso na sua composição apresente valores próximos de 100% de metano. Este gás pode ser inserido na rede de distribuição de gás ou ser utilizado como combustível para veículos.

Para este gás ser utilizado como combustível ou para ser inserido nas redes domésticas tem de passar por diversos processos de tratamento onde seja removido todas as impurezas existentes. Um dos fatores que faz com que este combustível traga benefícios ambientais, é o facto de que se este combustível não fosse reaproveitado seria libertado para a atmosfera através da sua decomposição natural (15).

Os tratamentos a que o biogás está sujeito podem ser de adsorção, separação por filtração ou separação por diferencial de temperatura.

No primeiro caso, em que o biogás é separado por adsorção, esta pode ser realizada por 3 métodos diferentes:

- Adsorção por diferença de pressão (PSA)
- Adsorção por diferença de temperatura (TSA)
- Adsorção por condutividade elétrica (ESA)

1.1.1. Produção de Biometano por Adsorção

O processo de adsorção por diferença de pressão pode ser observado na **Figura 15**.

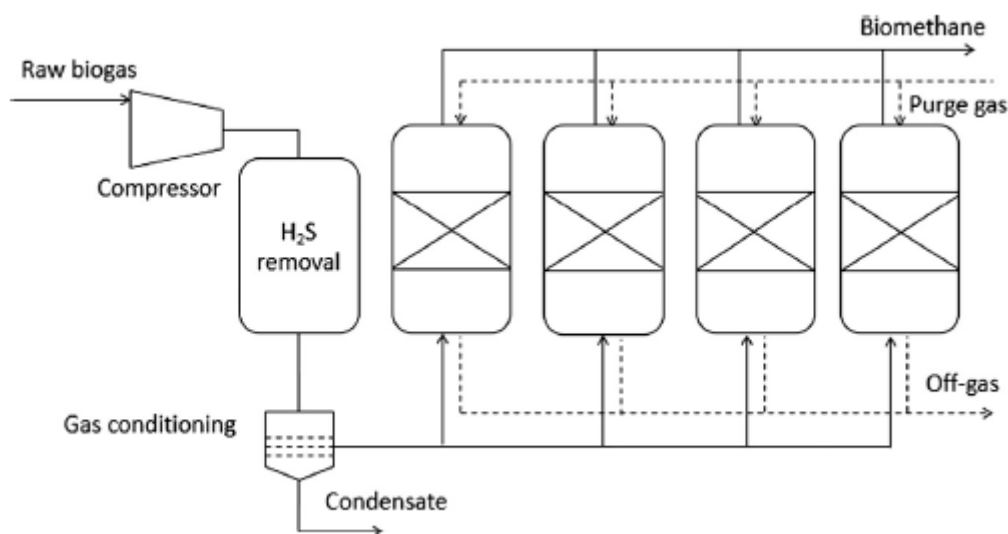


Figura 15- Método de tratamento de biogás (adsorção por diferença de pressão) (16)

Este processo inicia-se com a compressão do biogás. De seguida, são removidos os sulfatos de hidrogénio e outros gases indesejáveis do metano, como é o caso do CO₂, podendo assim obter concentrações de metano entre 95 a 99% no biogás tratado (16).

A adsorção por variação da temperatura, como o nome indica é realizada a pressão constante e apenas varia a temperatura do biogás. Este processo utiliza energia térmica para regenerar o metano. Este método é mais utilizado por ser um processo mais económico que o anterior.

Na adsorção por condutividade térmica o gás também é aquecido, neste caso por meio de eletricidade, facilitando assim, a libertação do CO₂. É necessária a existência de condutividade térmica.

1.1.2. Projeto life landfill biofuel

Cerca de 25% das emissões dos gases com efeito estufa da Europa são geradas pela poluição provocada pelos veículos (profissionais e particulares). De forma a que as emissões em 2050 diminuam 60% em 1990 desenvolveu-se um projeto para atingir este objetivo. Este projeto denomina-se *life landfill biofuel*.

O projeto *life landfill biofuel* tem como objetivo a produção de biometano extraído do biogás gerado nos aterros sanitários (17).

Este projeto apresenta um orçamento global de 4,6 milhões de euros, onde a Comissão Europeia financia 55% até 2023.

Atualmente são produzidos quase 1600 milhões m³/ano de biometano em aterros sanitários, e este projeto pode originar uma fonte de combustível renovável que promove o transporte rodoviário ecológico e melhora a qualidade do ar.

Life landfill biofuel visa demonstrar o sucesso de uma solução económica e ecológica que melhora a exploração de resíduos através de uma tecnologia de absorção por vácuo.

Este projeto tem como principais objetivos:

- Reduções de 99,9% de NO_x, de 99,8% de SO_x e 98,8% de partículas dos veículos a gasóleo
- Redução em 15% das emissões de CO₂ em veículos que operam a GN
- Aumento da competitividade nos setores de tratamento de resíduos e comércio de combustível alternativo
- Novas técnicas de exploração de biometano
- Ações de promoção e implantação de projetos relacionados com este pela União Europeia.

A *Seat*, empresa do ramo automóvel, já anunciou o seu envolvimento neste projeto e o diretor de projetos relacionados com gás renovável afirma que o maior objetivo destes desenvolvimentos e investigação é não ter quaisquer emissões de CO₂ nos veículos (18).

2.8. Gás de Petróleo Liquefeito

O GPL é um combustível obtido através do gás retirado do petróleo bruto. Este gás apresenta uma mistura de diversos hidrocarbonetos, sendo que os principais constituintes deste são o butano e o propano (19).

Quando comparado com os combustíveis convencionais, o GPL tem uma combustão menos problemática, podendo ser chamado um combustível amigo do ambiente. Outra das vantagens aparente deste combustível é o seu custo muito reduzido, sendo por isso, vulgarmente utilizado em diversos setores da indústria. Contudo, uma vez que é um combustível que é armazenado sob pressão tem de respeitar diversos regulamentos de segurança.

Comparado com o GN, em Portugal, existem mais postos de abastecimento de GPL, cerca de 350. Atualmente em Portugal a maior utilização de veículos a GPL são de utilizadores particulares.

Estes veículos podem ser adquiridos já com o sistema de GPL totalmente operacional ou podem ser adaptados para o consumo deste gás em oficinas especializadas. O processo de adaptação ainda requer algum trabalho pela necessidade de adicionar outro sistema de ignição, não alterando o método de origem do carro e ainda a instalação de um botão para se escolher se se pretende consumir gasolina ou GPL. O custo de aquisição de um sistema de GPL também é consideravelmente mais barato, quando comparado com GN.

Outra das diferenças existentes entre estes combustíveis é o tempo de abastecimento entre ambos. O abastecimento de GN demora cerca de 20 minutos a mais quando comparado com o GPL (20). Em contrapartida, o GN é um combustível mais limpo do que o GPL e mais leve do que o ar, ou seja, em caso de fuga dispersa-se facilmente no ar. Outras vantagens que a utilização de GNC apresenta quando comparado com o GPL são:

- Não existe a acumulação de chumbo nas velas de ignição;
- Sistemas de combustíveis selados, evitando assim perdas;
- Custos de manutenção mais reduzidos;
- Custo do combustível mais reduzido.

3. Gás Natural como combustível de motores de combustão interna

3.1. Tipos de veículos a Gás Natural

Existem 3 tipos de veículos a GN, sendo estes:

- Veículos que apenas consomem este combustível;
- Veículos bi-fuel que operam em motores iguais ciclo Otto;
- Veículos dual-fuel que operam com motores de ciclo Diesel.

Os veículos que apenas consomem GNC possuem motores de ignição otimizados para tirarem proveito do número elevado de octanas que este possui de forma a reduzir as emissões poluentes.

Estes veículos apresentam um custo de manutenção mais reduzido, quando comparado com os veículos a gasolina ou gasóleo. O estudo de Khan (12) comparou, no período de um ano, a utilização de autocarros a gasóleo e a GN. Segundo este estudo os custos de manutenção associados a um veículo movido a GN eram inferiores aos dos veículos a gasóleo em 12%. Para além disso, o GN, sendo um combustível limpo, não contamina o óleo lubrificante do motor. Assim, este óleo irá apresentar uma maior vida útil. Visto que este combustível entra no motor no estado gasoso, faz com que limpe a área dos segmentos em vez de criar partículas que ficam acumuladas no motor, como acontece nos combustíveis convencionais. Contudo, quando se utiliza um motor que só funciona a GN é necessário utilizar um óleo com algumas características específicas pois, este combustível não apresenta qualquer tipo de lubrificação para os componentes do motor. Normalmente utilizam-se óleos com baixos teores de cinzas de modo a militar a emissão de partículas pelo escape.

Os motores que utilizam apenas Gás Natural Veicular (GNV) têm como método de combustão um sistema idêntico ao do ciclo de Otto, ou seja, de faísca, mas este combustível pode ser utilizado também em motores bicomcombustíveis. Nestes motores bicomcombustíveis pode haver alternância de gasolina e GNV através de um interruptor no veículo onde se escolhe o combustível que se pretende utilizar, idêntico ao sistema a GPL.

Ao considerar motores que operem em ciclo Diesel, existe a possibilidade de funcionar com dois combustíveis (dual-fuel), gasóleo e GN, não sendo possível utilizar somente GN devido ao método de combustão. Caso se utilize um motor em regime dual-fuel, as principais diferenças para um motor que opere apenas a gasóleo são:

- Adição de equipamentos de armazenamento para GN;

- Sistema de injeção de GNC;
- Alteração das taxas de compressão e cabeças dos pistões.

Este tipo de motor inicia a combustão com a utilização apenas de gasóleo. Quando aumenta a carga do motor (existe a aceleração), este inicia também o consumo de GN.

Na **Figura 16** pode-se observar um veículo movido a este combustível alternativo em 1910 onde se verifica a necessidade de haver um reservatório de grandes dimensões.



Figura 16- Armazenamento de GNC em veículos antigos (22).

De seguida pode-se observar o reservatório utilizado atualmente.



Figura 17-Armazenamento de GNC em veículos atualmente (23).

Como se pode observar na **Figura 17**, hoje em dia já existe um reservatório bastante discreto ao contrário do que acontecia antigamente. Este facto deve-se maioritariamente à capacidade, hoje em dia, de maior compressão do GN.

Os veículos bi-fuel podem operar com gasolina ou GN. Estes veículos podem funcionar apenas com um tipo de combustível, ao contrário do que acontece nos veículos dual-fuel. Os motores destes veículos são iguais aos motores de combustão de ciclo de Otto utilizados nos veículos a gasolina.

Quando comparado com o gasóleo ou a gasolina, o GN apresenta uma baixa velocidade de propagação da chama logo um maior atraso à ignição o que implica uma combustão é mais longa.

Os motores a gasóleo são os favoritos para os consumidores domésticos devido ao custo inferior do combustível e ao seu elevado binário quando comparado com motores com ciclo de Otto. Contudo, desde o final dos anos 90 que existem normas de emissões muito rigorosas associadas a um investimento elevado em tecnologias avançadas de tratamento de gases que resultam da combustão do combustível e do sistema de injeção do combustível, aumentando o custo dos veículos que operam em Ciclo Diesel.

Os motores a gasóleo existentes têm a possibilidade de ser convertidos para operar a dual-fuel. Apenas utilizam o gasóleo como fonte de ignição uma vez que, caso funcionasse apenas a Gás Natural, necessitava de uma razão de compressão muito elevada (aproximadamente de 38:1). Assim, o motor começa a trabalhar apenas com gasóleo e só a partir de uma determinada temperatura inicia o funcionamento em regime dual-fuel. Este combustível pode ser utilizado em concentrações de até 90% nestes motores, dependendo do regime de funcionamento.

Este tipo de motor (dual-fuel) permite ao utilizador do veículo decidir se quer que o motor funcione apenas com um combustível (gasóleo), caso pretenda uma maior eficiência, enquanto que se se pretender uma maior economia de combustível e a redução de gases poluentes a utilização de uma maior percentagem de GN. A utilização deste tipo de injeção permite temperaturas mais baixas na combustão o que faz com que se reduza a emissão de NO_x bem como as partículas.

Estes motores, tendem a obter as mesmas características que os motores a gasóleo podendo aumentar a potência sem emissões de partículas e com emissões de NO_x bastante reduzidas. A utilização de um combustível com baixo teor em carbono, como é o caso do GN, promove uma vaporização mais fácil resultando na diminuição de emissões de partículas e, indiretamente, de óxidos de nitrogénio. Não é possível a utilização deste combustível em motores de ignição por compressão porque se trata de um combustível com um elevado nível de octanagem e baixo nível de cetano. Uma das desvantagens que existe nestes sistemas é que, como o gás possui uma densidade baixa, precisa de injetores

com maior capacidade do que os do combustível convencional para poder admitir maior quantidade de GN em menor tempo (24).

Segundo Boretti (24), este sistema dual-fuel apresenta uma maior eficiência (+3%) quando a pressão de injeção do gás é realizada a 600bar ou quando este é pré misturado com o ar antes da injeção de gásóleo. Para além deste aumento de eficiência, quando existe injeção a esta pressão tão elevada, ocorre uma redução de emissões de partículas na ordem dos 40 a 60%.

De forma a perceber qual as vantagens em termos de emissões para veículos dual-fuel, foi realizada uma análise à utilização dos motores que utilizam dois combustíveis (25) em que foram analisados vários parâmetros, sendo os mais relevantes a quantidade de poluentes emitidos pelo veículo e os consumos deste.

Com a utilização de um motor ciclo Diesel o ruído da combustão atinge cerca de 4 bar/°C às 1200rpm e com o aumento da rotação existe ainda um aumento pouco significativo do ruído. Quando se analisa um veículo dual-fuel, o ruído provocado por este pode variar dos 4bar/°C a 4.5N.m até 15.5 bar/°C às 18.5 N.m. Quando há aumento da carga no acelerador e a velocidade se mantém constante isto deve-se a um atraso na ignição. Isto sucede devido ao facto de o GN ser um combustível gasoso. A quantidade de poluentes emitidos apenas foi comparada para o motor a gásóleo e dual-fuel.

Na Tabela 2 pode-se observar a emissão dos diferentes poluentes para diversas cargas de aceleração (25).

Tabela 2 - Dados retirados de uma análise aos motores dual fuel (25)

Poluente	Carregamento							
	10 %		20 %		30 %		40 %	
	Gásóleo	Dual-Fuel	Gásóleo	Dual-Fuel	Gásóleo	Dual-Fuel	Gásóleo	Dual-Fuel
CO (ppm)	176	656	219	672	284	711	321	922
CO2 (ppm)	3.1	6.1	4.2	7.2	5.8	9.2	6.1	11
HC (ppm)	108	119.6	124.3	132.7	185	185	272.3	278
CH4 (ppm)	7.1	14.6	8.8	27	10.2	26	12.4	32.7
SO2 (ppm)	4.2	1.2	5.4	1.2	6.7	1.7	9.8	2.2
NO2 (ppm)	180.3	97.3	227.6	140.7	280	167.3	406.7	247.3
Partículas (mg/m3)	23	20	26	25	28	23.7	32	30

Através da análise da Tabela 2 verifica-se para qualquer percentagem de carga, o motor dual fuel emite cerca de 60.05% a 73.2% mais CO do que um motor que funcione

apenas a gasóleo. Tal como acontece no CO, o motor a dual-fuel também emite mais CO₂ (cerca de 37% a 49.2%).

Nas emissões de HC os valores para o motor a gasóleo e a dual-fuel são bastante semelhantes, nunca ultrapassando uma diferença de 10%, mas o motor a dual-fuel apresenta sempre emissões mais elevadas. Os valores de emissões apenas são iguais quando a carga se apresenta a 30%.

Quando se fala em emissões de CH₄, uma vez que este é o componente maioritário do GN, um veículo a dual-fuel apresenta emissões mais elevadas. Com a utilização de um motor em regime dual-fuel, este emite cerca de 51.3% a 67.4% vezes mais (dependendo da carga) CH₄ do que um motor a gasóleo.

Dependendo das cargas aplicadas no acelerador, um motor que consuma apenas gasóleo emite cerca de 38.2% a 46% vezes mais NO₂ do que um motor a dual-fuel e cerca de 3% a 15.4% vezes mais de partículas.

3.2. Características motores a Gás Natural

Existem vários fatores importantes quando se pretende analisar o funcionamento de MCI, sendo alguns deles o consumo específico do motor (BSFC), o tipo de chama, movimento de carga e a possibilidade de ocorrência de detonação (knock ou autoinflamação).

O consumo específico é uma variável muito importante quando se pretende comparar o desempenho de motores de ignição de diferentes combustíveis. Diversos estudos verificam que o consumo específico dos motores movidos a GN é cerca de 12 a 20% menor do que o de motores a gasolina em qualquer regime de velocidade.

Isto pode dever-se ao maior aquecimento do GN em comparação com a gasolina ou ao facto de ser uma combustão mais lenta.

Uma vez que estes motores apresentam um maior poder calorífico, também apresentam uma eficiência térmica mais elevada 5 a 12%. Foi verificado, também, que quando se utiliza um dual-fuel (neste caso 60% GN e 40% gasóleo) o consumo específico do motor diminuiu 60% quando comparado com um motor a operar apenas a gasóleo.

Para iniciar o processo de combustão é necessário que exista a mistura do combustível com o comburente. Esta mistura pode acontecer antes da ignição no coletor de admissão ou podem ser injetados separadamente.

Quando a mistura entre o combustível e o comburente é realizada antes da ignição a propagação da chama é denominada de pré-mistura. Neste caso é necessário que uma fonte de energia externa para iniciar a inflamação dessa mistura. Este método da propagação da chama é denominado tipicamente por método de injeção indireta e utilizado muitas vezes em MCI movidos a gasolina, em que o combustível é injetado na câmara de admissão e é misturado com o ar. Após a entrada na câmara de combustão é iniciada a inflamação da mistura com o auxílio de uma fonte de ignição (vela de ignição). Os motores que operam apenas a GN também utilizam este tipo de chama.

Quando a chama resulta da difusão do combustível no comburente denomina-se chama de difusão. Neste caso a mistura é autoinflamada pela compressão dos reagentes. Este fenómeno acontece quando a energia fornecida pelo combustível ultrapassa o valor de autoinflamação. Isto ocorre devido à pressão de injeção do combustível na câmara de combustão.

Os motores que operam a GN utilizam uma fonte de ignição externa para realizar a ignição do combustível. Regra geral, é utilizada uma vela de ignição. Na câmara de admissão existe a mistura entre o combustível e o ar de forma a procederem à inflamação destes quando existe a faísca provocada pela vela.

Quanto maior for a agitação existente no combustível e no ar, melhor a formação da mistura para a combustão. A energia que a faísca liberta deve inflamar instantaneamente a mistura de Gás Natural + ar.

Tendo em consideração as perdas de calor existentes devido à condução e convecção, a fonte de ignição emite uma energia superior à energia necessária calculada teoricamente, para se certificar que o combustível é inflamado.

Esta ignição é responsável para inflamar a mistura ar + combustível de forma a iniciar o processo de combustão. A combustão desta mistura vai ser influenciada pela velocidade de combustão desta, pelo ponto de ignição e pela velocidade do pistão.

Quando se fala na ignição de misturas homogéneas, em que não é identificável o combustível e o comburente, a ignição é realizada a partir de uma faísca. Nos motores de ignição por faísca a velocidade da chama é definida por ela mesma, e pelo espaço que tem para auto inflamar o combustível. Nestes casos, é facilmente visível a mistura que é queimada e a que não é queimada, visto que, caso exista mistura não queimada, a chama vai se propagar no sentido dos compostos não queimados.

Quanto mais rápida for a propagação da chama dentro do cilindro, melhor será a combustão dentro do motor (2).

Alguns dos fatores que ajudam a aumentar a velocidade da chama são:

- Alto nível de agitação dentro da câmara de combustão;
- Baixa quantidade de gases não inflamáveis;
- Elevada velocidade da chama;
- Aumento da temperatura e pressão dentro do cilindro.

Em motores utilizados para competição é comum a utilização de misturas ligeiramente ricas $\lambda=0,85$ a $0,9$. Isto acontece devido ao facto de, ao utilizar uma mistura ligeiramente rica exista um arrefecimento do motor (2).

Existe dois tipos de movimentos de carga, o movimento de queda e o movimento de turbulência.

No movimento de queda o pistão move-se até ao PMI e auxilia principalmente na propagação da chama até ao início da combustão.

O movimento de turbulência, dura desde a fase de expansão até que a mistura se encontre no máximo estado de agitação. Esta agitação pode ser criada pela geometria da câmara de combustão, mais propriamente, quando o pistão desce na câmara de combustão.

A realização de uma combustão homogénea é um dos aspetos físicos mais difícil de obter durante a fase de expansão, devido ao facto de mais de 10% do combustível fornecido não ser queimado antes do PMS, originando uma combustão incompleta.

Existem diversos fatores que podem provocar uma detonação (combustão descontrolada). Alguns desses fatores são variações cíclicas, causadas pelo efeito *knock* ou pela auto-ignição.

As variações cíclicas, podem dever-se ao facto de os processos homogéneos de combustão serem facilmente influenciados. Os processos de combustão podem ser influenciados pela quantidade de gases de escape, composição da mistura e fluxo de entrada de ar + combustível. O início da ignição é o que mais influencia as variações cíclicas.

Outro fator indesejável é o efeito *knock*. Neste caso, a mistura de ar + combustível, juntamente com o aumento de temperatura causado pela combustão progressiva existente no motor entra em combustão sem que a chama se propague controladamente. Este facto associado a uma utilização prolongada provoca desgaste acentuado no motor.

O efeito *knock* ocorre devido ao aumento de temperatura e pressão até provocar a autoignição. Normalmente este fator acontece quando 80% do combustível presente na câmara de combustão não tiver sido gasto no ciclo anterior (2).

A ocorrência de *knock* no motor pode dever-se a baixas rotações do motor, com tempo suficiente para a autoignição ou em cargas elevadas com altas temperaturas da câmara de combustão. Quanto maior for a temperatura de ignição do combustível menor a sensibilidade ao atrito. O efeito *knock* pode ser reduzido atrasando a ignição. Os motores que utilizam turbo ou compressor carecem de especial atenção devido às suas altas temperaturas de compressão final.

Existem diversas formas de evitar que aconteça explosões descontroladas, sendo estas:

- O arrefecimento das áreas quentes do cilindro, utilizando o método de injeção direta de combustível,

- Reduzir a taxa de compressão

- Uso de combustível aditivado.

O terceiro fator, a autoignição, pode acontecer de diversas formas:

- Injeção de combustível com câmara de combustão a temperaturas elevadas;

- Atraso da ignição aliada à combustão incompleta;

- Emissões causadas por defeitos ou desgastes nos segmentos do pistão;

- Ignição causada por abrasão e partículas quentes.

Dependendo do combustível utilizado, os maiores poluentes originados na combustão de motores de ignição por faísca são:

- Óxidos de nitrogénio

- Monóxido de carbono (CO)

- Hidrocarbonetos (HC)

Os HC e CO são poluentes que resultam da combustão incompleta do combustível. Quando o motor opera com uma mistura rica, ou seja, mais combustível que ar, irá resultar num aumento de emissões de CO e HC devido à falta de O₂.

Quando existe uma combustão mais lenta, a chama tem uma temperatura mais baixa e provoca um aumento de emissões de HC. Contudo, devido ao excesso de O₂, as emissões de CO são mais baixas.

Graças ao tratamento de gases de escape, os motores a gasolina, utilizam um catalisador de forma a reduzir as emissões de gases poluentes para a atmosfera. Os catalisadores de 3 vias (que operam com mistura estequiométrica), reduzem as emissões de NO_x no mesmo processo que oxidam moléculas de CO e de HC. Caso o motor opere com uma mistura rica, reduz os NO_x originados pelas temperaturas muito elevadas de combustão. No subcapítulo 3.4 existe a descrição mais detalhada deste assunto.

3.3. Componentes necessários para veículos a Gás Natural

A nível do sistema de combustível, para ter um veículo a operar com este combustível são necessários os seguintes componentes:

- Bocal de enchimento específico
- Reservatório de gás
- Válvulas de corte de alta pressão
- Módulo de regulação de pressão
- Tubos de para ligação aos injetores de gás
- Sensor de pressão baixa e de temperatura

De todos os componentes específicos para a utilização deste combustível, os que apresentam maior relevo são os injetores e as válvulas de controlo de pressão.

O injetor de GN deve ser estar adaptado para poder debitar um maior volume de combustível de forma a que, quando são requeridas velocidades de injeção rápidas não existam perdas de pressão no injetor.



Figura 18- Injetor de Gás Natural (45)

Em motores turboalimentados, onde a pressão do coletor de admissão pode subir até 2.5 bar, deve-se garantir para o bom funcionamento destes motores que a pressão do GN injetado seja duas vezes maior do que a pressão nos coletores de admissão para que não provoque quebras na eficiência do motor. Embora seja possível que haja perdas de pressão na ligação do depósito deste combustível ao injetor, é recomendado utilizar uma pressão absoluta mínima de 7 bar (2).

Como se pode observar na Figura 18, o injetor apresenta um vedante que irá vedar a tubagem de admissão. O injetor também possui uma mola que evita que o injetor se abra quando não seja necessário.

Por outro lado, o módulo regulador de pressão do gás tem como função reduzir a pressão existente neste combustível para a pressão de injeção na câmara de admissão. A pressão que se utiliza nos sistemas da atualidade varia de 7 a 9 bar (2).

Este módulo, em regra geral, é constituído por um regulador, um filtro, uma válvula de corte de gás, um sensor de alta pressão e, após a passagem pelo regulador, uma válvula de alívio.

Os reguladores mais utilizados são os de diafragma ou os de êmbolo e são controlados através da carga no acelerador.

O filtro permite reter partículas maiores para não serem queimadas no motor. A válvula de corte tem como principal função seccionar o gás quando se desliga o motor de combustão. O sensor de pressão tem como funcionalidade saber a quantidade de gás no tanque. Este módulo de alta pressão possui, também, uma válvula de alívio na parte de baixa pressão (após o gás ser regulado), assim, caso exista alguma avaria no regulador, esta válvula de alívio previne danos aos restantes componentes do sistema de injeção.

O gás sai do reservatório por diferencial de pressão onde passa pelo regulador. Caso a pressão seja baixa, o diafragma ou êmbolo são estrangulados pela mola permitindo que exista um aumento de pressão no lado da baixa pressão.

3.4. Controlo e desempenho do motor a Gás Natural

O GN apresenta um índice de octano entre cerca de 120 a 130, superior ao valor da gasolina que apresentam cerca de 85 a 100. Denomina-se de índice de octano a resistência à detonação de combustíveis utilizados em Ciclo Otto. Devido ao elevado índice de octano, o gás apresenta uma elevada resistência ao efeito *knock* do motor, podendo assim utilizar razões de compressão mais elevadas do que os outros motores que operam por faísca, resultando também numa maior eficiência. Denomina-se efeito *knock* à combustão não ocorre no momento específico para o ciclo de 4 tempos. A eficiência de um motor que opera a GN é altamente dependente da configuração do motor, e se este apenas opera com este combustível, ou bi-fuel ou até dual-fuel.

À semelhança do que acontece num motor a gasolina, no motor a GN o ar, quando é absorvido pelo motor, passa por um medidor de massa de ar e por uma válvula que regula a quantidade de ar para o coletor de admissão.

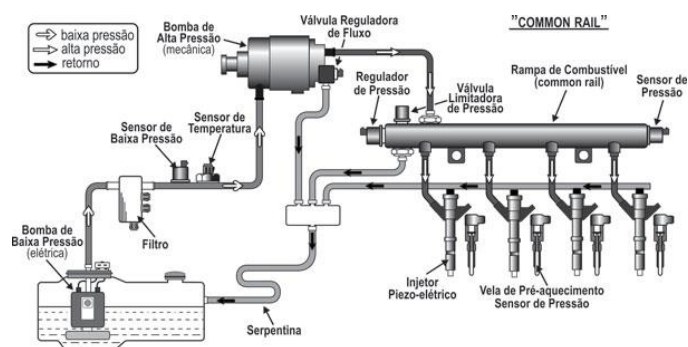


Figura 19- Circuito de combustível num veículo (26)

O Gás Natural, que está no reservatório do veículo a 200 bar move-se para a admissão por diferencial de pressão. A pressão é regulada de forma a que na admissão a pressão do gás seja cerca de 7 bar. Esta regulação é feita à saída de reservatório (10).

No entanto, um motor que utilize GN tem cerca de 15 a 20% de perdas que um combustível líquido não teria. Estas perdas estão associadas à baixa velocidade de propagação da chama e uma baixa eficiência volumétrica devido às reduzidas densidades dos combustíveis gasosos. Este tipo de combustível ocupa entre 4 a 15 vezes mais volume na entrada para a câmara de combustão, resultando numa redução significativa da eficiência volumétrica quando comparado com os combustíveis líquidos. Em suma, é expectável uma perda de 10% de energia quando se compara o desempenho de um motor a funcionar a gasolina e a gás natural (28).

Em termos de manutenção preventiva nestes veículos, esta recai sobre o motor de combustão interna e o sistema de injeção.

Quando se trata da manutenção a realizar no motor, deve-se ter especial atenção à utilização de um óleo com especificações adequadas dadas as características específicas deste combustível nomeadamente o facto de se apresentar no estado gasoso.

Em relação ao sistema de injeção é comum a utilização de dois filtros de combustível um no circuito de alta pressão e outro no circuito de baixa pressão com a finalidade de reter óleos e impurezas que o combustível possa vir a transportar.

Sendo o gás natural um combustível gasoso, apresenta um maior desgaste tanto das válvulas como das velas de ignição.

3.5. Emissões

Quando se fala de emissões, a emissão de CO₂ é cerca de 4 vezes menor do que a dos combustíveis convencionais (29). As emissões de NO₂ são mais elevadas devido aos sistemas de pós tratamento dos gases de escape. Estas emissões de NO₂ podem ter um

impacto alarmante para o aquecimento global tanto quanto 1 a 3% de CO₂ emitido por um veículo.

Com a utilização de gás natural as emissões de CH₄ aumentam. Atualmente na Euro 6 o limite de CH₄ é de 32mg/km para ligeiros de passageiros.

No estudo de Kaleemuddin e Prasad (30), foram analisadas as emissões de um motor de combustão por faísca de 1,5L e com 4 cilindros. Neste estudo, avaliou-se o que a pressão média efetiva, consumo específico de combustível, eficiência e emissões de CO₂, HC e NO_x. A utilização de GNC, mostrou uma baixa pressão média efetiva, um baixo consumo específico de combustível. Denotou-se, também, uma maior eficiência e menores emissões de CO, CO₂ e HC. P. Boisen e M. Lage (31) realizaram uma comparação em que se adicionava Hidrogénio (H₂) ao GN de forma a melhorar o desempenho do motor a GNV. Esta análise foi comparada com a utilização de GPL entre as 1800 e as 3600 rpm. Foi também analisada a utilização de diversos combustíveis, entre os quais, gasóleo, gasolina, GN e GPL, bem com a utilização de mistura de dois combustíveis, sendo uma destas o GNC e o H₂ com vista a melhorar a eficiência.

O motor analisado foi projetado para consumir gasóleo, logo, foi necessário realizar alterações consideráveis a nível mecânico. Para converter este motor num sistema de injeção de combustível por faísca, foi necessário realizar modificações na cabeça do cilindro no volante do motor, no pistão e em todo o sistema de injeção.

A vela de ignição, neste caso, foi colocada no local do injetor de gasóleo. Foi também, reduzido o peso do volante do motor de 14kg para 6,25kg, uma diferença de 50%. Foram realizadas alterações mecânicas de forma a reduzir a razão de compressão para 9:1 onde anteriormente era 18:1 através da redução da câmara de combustão. O sistema de injeção de combustível também foi substituído para uma injeção direta eletrónica. Foi utilizada uma bobina de alta tensão de forma a gerir a combustão mais lenta de combustíveis gasosos (31).

Tabela 3- Propriedades dos combustíveis (31)

Propriedades	Gasolina	Gásleo	GPL	CNG
Formula química	C_8H_{16}	$C_{12}H_{26}$	C_3H_8	CH_4
Estado físico	Líquido	Líquido	Gás	Gás
Poder calorífico inferior (MJ/kg)	43.5	42.6	46.5	42.02
Número de octano	87-93	-	100-103	120-130
Temperatura de autoignição	225	220	470	450
Razão estequiométrica	14.7	15	15.6	17.6
Densidade (kg/m^3) 15°C	750	832	2.26	0.79

Para a realização deste estudo, o motor foi montado num banco de ensaio onde os parâmetros operacionais mais relevantes foram monitorizados. Esses parâmetros foram a velocidade do motor, temperatura do óleo, fluxo de ar e combustível e regime de aceleração.

Através do estudo de P. Boisen e M. Lage, percebeu-se que a conversão de motores que operam em ciclo Diesel em dual-fuel traz vários benefícios. A adição de Gás Natural trouxe vantagens quando no ponto de vista dos poluentes emitidos.

Foi também tido em consideração o caso de estudo relatado por Yasar (29) que consiste na comparação das emissões de veículos ligeiros e pesados que consumiam gás natural, gasóleo e gasolina. Para esta análise foram utilizados 15 tipos diferentes de veículos, desde autocarros, a carrinhas, motociclos ou carros. De frisar que 61% dos veículos analisados foram motociclos e 28% automóveis, jipes ou carrinhas comerciais. Nos restantes 11% estão ainda englobados pesados de mercadorias, pesados passageiros, táxis entre outros.

Foi analisada a densidade dos gases de escape no momento de aceleração, tal como as emissões de CO, SO₂, NO e HC o que permitiu elaborar a Tabela 4.

Tabela 4- Dados retirados do artigo (29) para comparação de emissões do gás natural com o gasóleo e a gasolina.

Tipo de veículo	Tipo de combustível	CO (%)	NO (ppm)	SO ₂ (ppm)	Smoke Opacity	HC (ppm)
Autocarro	CNG	2	45	22	16	1500
	Gasóleo	0.1	82	120	51	21000
Furgão	CNG	1.3	60	23	24	1350
	Gasóleo	0.15	78	115	40	19000
	Gasolina	2.4	75	28	22	4200
Automóveis	CNG	1.6	16	25	5	610
	Gasóleo	0.1	45	125	30	15000
	Gasolina	1.8	13	31	6	2800

Com a análise da Tabela 4, é possível evidenciar que, quando se compara gasóleo com gás natural, independentemente do veículo, a relação entre gases emitidos para a atmosfera é semelhante.

Para diferentes veículos, quando se compara um motor a gasóleo com um motor a gás natural é possível afirmar que:

- Um motor a gás natural comprimido liberta cerca de 8 a 20 vezes mais CO do que o motor a gasóleo;
- Um motor a gasóleo liberta cerca de 0.2 a 1.8 mais NO_x (ppm) do que um motor a gás natural;
- Um motor a gasóleo liberta cerca de 4 a 4.5 vezes mais SO₂ (ppm) do que um motor a gás natural;
- Um motor a gasóleo possui uma densidade de gases de escape (%) de 0.7 a 5 vezes maior do que um motor a gás natural;
- Um motor a gasóleo liberta cerca de 13 a 23 vezes mais HC (ppm) do que um motor a gás natural.

Através deste estudo é possível concluir que a conversão deste motor em ciclo Otto é rentável. Quando se fala de emissões, a emissão de CO₂ é cerca de 4 vezes menor do que os combustíveis convencionais. As emissões de NO₂ são mais elevadas devido aos sistemas de pós tratamento dos gases de escape.

Com a utilização de Gás Natural as emissões de CH₄ aumentam o que pode ser crítico relativamente aos limites impostos atualmente pela legislação (Euro 6 o limite de CH₄ é de 32mg/km para ligeiros de passageiros).

Sendo um combustível que emite menos CO₂, é visto como uma solução para diminuir as emissões dos transportes rodoviários melhorando assim a qualidade do ar. Contudo,

verificou-se que as emissões de partículas não podem ser desprezadas, principalmente em cargas elevadas (33).

Como este combustível emite partículas de tamanhos mais reduzidos, mais facilmente entram no sistema respiratório do ser humano, podendo provocar doenças respiratórias. Na Norma Euro 6, onde se regulam os valores máximos de partículas emitidas pela queima de diferentes combustíveis na União Europeia, já foi restringido um máximo para as emissões através da combustão de GN.

Na análise realizada por Distaso et al. (33) foi utilizado um motor a GN com o intuito de comparar as emissões de partículas com a velocidade e carga associada. A análise foi realizada em toda a gama de rotação em que o motor opera (desde as 800 às 3500rpm) e com 5 cargas de aceleração diferentes. As emissões de partículas foram medidas no tubo de escape e a montante do catalisador de 3 vias com o auxílio de um sistema de diluição para avaliar nos gases de escape a concentração de partículas.

Neste estudo foi possível verificar que a velocidade e a carga no motor apresentam uma variável considerável nas emissões de partículas no motor. Quando o motor operava em cargas e velocidades elevadas apresentava elevadas emissões de partículas. Contudo, o valor máximo de emissões poluentes foi obtido para uma carga entre os 70 e 80% e uma rotação do motor de 65 a 80%.

Para baixas rotações denotou-se que o catalisador de três vias apresentava baixa eficiência. Em contrapartida, com cargas elevadas apresentou um elevado rendimento.

4. Análise ambiental e económica

4.1. Análise ambiental

Atualmente, a utilização de combustíveis menos poluentes é um assunto de importância mundial.

Quando comparado com os combustíveis fósseis mais comuns (gasóleo e gasolina), o GN (sendo maioritariamente metano) leva a uma combustão mais limpa ao emitir menos CO₂, SO_x e partículas. Devido a isto, o aumento da utilização deste combustível em detrimento da gasolina e do gasóleo pode auxiliar alguns problemas ambientais.

A diminuição das emissões pode evitar a ocorrência de formação de poluição atmosférica e de chuvas ácidas, que tem grande importância nos danos respiratórios ao ser humano e em danos noutros ecossistemas.

Em termos de segurança, este combustível é bastante mais seguro do que os restantes. O principal fator para isto deve-se ao facto sua temperatura de autoignição ser 540°C, enquanto que os combustíveis convencionais apresentam uma temperatura de cerca de 316°C e 258°C. Visto que se trata de um combustível gasoso, um depósito com a mesma capacidade possui sempre menor quantidade deste combustível.

Devido às alterações climáticas atuais, em 2018 a União Europeia comprometeu-se em chegar a 2050 com a neutralidade nas emissões de carbono atingida. Esta neutralidade pretende limitar o aquecimento global em 1,5 °C (34).

De forma a minimizar as emissões de gases que provocam o efeito de estufa é necessário igualar as emissões de carbono com a absorção natural deste gás pela atmosfera. Este fenómeno é chamado de neutralidade das emissões de carbono.

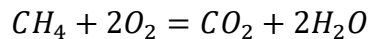
A absorção natural dos átomos de carbono (presentes no CO₂) é feita pelos oceanos, solos e florestas. Em média estes removem entre 9,5 a 11 Gt (Tonelagem de arqueação bruta (também conhecida por TAB)) de emissões de CO₂ da atmosfera por ano. (34) Em 2017 foram emitidas para a atmosfera cerca de 37,1 Gt de CO₂.

Até 2030, prevê-se um aumento de veículos a movimentarem-se a gás natural de 10 vezes em relação aos que estão a ser atualmente utilizados (cerca de 14 milhões de unidades). Para 2030, é esperado que cerca de 25% dos veículos matriculados para transporte de carga sejam a GN tornando-se assim, uma opção tão viável como o gasóleo (35).

Na combustão de GN, ocorre a oxidação do hidrogénio, do carbono e do enxofre existentes neste combustível. Nesta reação existe a análise térmica e mássica do combustível.

Na análise mássica considera-se a quantidade de ar que entra na combustão, sendo o valor mínimo a quantidade para atingir uma mistura estequiométrica. Na análise energética verifica-se a quantidade de calor libertada, a quantidade de calor perdido na exaustão e a temperatura na combustão.

A reação estequiométrica associada à combustão do GN é apresentada em seguida:



Chama-se combustão completa à combustão onde todos os átomos do combustível se juntam com átomos de oxigénio, provocando a oxidação de todos os hidrocarbonetos. Neste caso, o metano (CH₄) forma CO₂ e H₂O, mesmo que necessite de excesso de O₂ para assegurar esse efeito.

Quando ocorre uma combustão incompleta, ou seja, não há oxidação de todos os átomos do combustível é frequente que se formem e libertem moléculas de CO e HC. Esta combustão pode acontecer devido à descida de temperatura da chama ou à ocorrência de uma mistura rica, existindo menos O₂ do que os necessários para assegurar a combustão do CH₄. De forma a que este fenómeno não aconteça, a quantidade de ar admitido é maior do que a quantidade de ar teórico necessário para realizar uma combustão pobre, ou seja, com mais ar que combustível (36).

4.2. Análise Económica

Foi realizada uma análise económica e a nível de emissões dos novos veículos matriculados em 2018. Esta análise consistiu em considerar o número de veículos matriculados em 2018 a gasóleo e GN e verificar em termos económicos e de poluentes as divergências existentes.

Em 2018 foram vendidos 5643 veículos pesados em que 5441 são a gasóleo e 170 a GN. Considerou-se o consumo médio dos veículos a gasóleo de 37L/100km e 40 m³/100km (37).

Tabela 5- Tabela de consumos de autocarros em 2018

	Autocarros a GN	Autocarros a gasóleo	Diferença percentual
Custo dos veículos	240.000	200.000	-20%
Consumo aos 100km	40m ³	37L	
Custo combustível (sem iva)	0,944	0,969	+2,5%

Se considerar que os veículos fazem 100 000km por ano e são todos movidos a gasóleo, com um preço de 0,969€/litro, pode-se verificar que:

$$Q_{gas\acute{o}leo/litros} = \frac{37 \times 100.000}{100} = 37.000 \text{ Litros}$$

$$Custo_{carro} = 0,969 \times 37.000 = 35.853 \text{ euros/carro}$$

$$Custo_{total} = 35.853 \times 5.643 = 202.318.479 \text{ euros/ano}$$

Pode-se observar que, anualmente, se todos os veículos matriculados em 2018 fossem a gasóleo existia um custo anual de 202.318.479 euros em combustível.

Caso os veículos fossem a GN, considerando um preço de 0,944€/m³, verificar-se-ia então que:

$$Q_{gas\ natural/kg} = \frac{40 \times 100.000}{100} = 40.000 \text{ Kg}$$

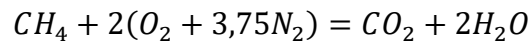
$$Custo_{carro} = 0,944 \times 40.000 = 37.760 \text{ euros/carro}$$

$$Custo_{total} = 37.760 \times 5.643 = 214.212.480 \text{ euros/ano}$$

É possível verificar que como os veículos a gasóleo apresentam um custo inferior quando só consideramos o combustível na ordem dos 6%, não sendo economicamente

viável por este motivo e pelo seu custo de aquisição ser cerca de 20% inferior quando comparado com um veículo a Gás Natural.

Posto isto, realizou-se uma análise ao às emissões de CO₂ provocada por ambos:



$$1\text{mol } CH_4 = 1\text{mol } CO_2$$

$$M_{CH_4} = 12 + 4 \times 1 = 16g$$

$$M_{CO_2} = 12 + 2 \times 16 = 44g$$

$$16g \text{ } CH_4 = 44g \text{ } CO_2$$

$$\frac{44}{16} = 2,75$$

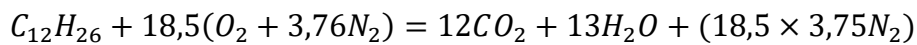
$$40m^3/100km \times 0,814 \frac{kg}{m^3} = 32,56kg \text{ } CH_4/100km$$

$$emissões \text{ } CO_{2\text{Metano}} = 2,75 \times 32,56 = 89,54 \text{ } kg_{CO_2} \text{ } \textit{carro}/100km$$

$$emissões \text{ } CO_{2\text{Metano}} = \frac{89,54 \times 100.000}{100} = 89.540 \text{ } kg_{CO_2} \text{ } \textit{ano}$$

Verifica-se que, com os veículos a operar a GN existe uma emissão de CO₂ para a atmosfera de 89.540 kg por ano.

De seguida, procedeu-se à análise das emissões de CO₂ dos veículos a operar a gasóleo.



$$M_{C_{12}H_{26}} = (12 \times 12) + (26 \times 1) = 170g$$

$$M_{CO_2} = 12 \times (12 + 2 \times 16) = 528g$$

$$\frac{528}{170} = 3,1 \text{ } kg \text{ } CO_2$$

$$37l/100km \times 0,832 = 30,78 \text{ } kg_{CO_2}/100km$$

$$emissões \text{ } CO_{2\text{gasóleo}} = 30,78 \times 3,1 = 95,42kg_{CO_2} \text{ } \textit{carro}/100km$$

$$emissões \text{ } CO_{2\text{gasóleo}} = \frac{95,42 \times 100.000}{100} = 95.420 \text{ } kg_{CO_2} \text{ } \textit{ano}$$

Verifica-se que, com os veículos a operar a gasóleo, existe uma emissão de CO₂ para a atmosfera de 95.420 kg por ano.

É possível verificar ainda que, caso os veículos pesados matriculados em 2018 a gasóleo fossem a GN, existia uma diminuição das emissões de CO₂ de 5.880kg, anualmente, o que equivale a cerca de 6%.

5. Conclusão

Tendo em conta a elevada dependência atual dos combustíveis fósseis como fonte de combustível para veículos e os danos ambientais daí recorrentes foi feita uma análise à utilização de gás natural em veículos atualmente. Esta utilização permite levar a uma redução significativa de emissões poluentes.

Apresentou-se ainda a constituição da rede de distribuição de gás natural bem como a legislação em vigor em Portugal e os postos de abastecimento disponíveis na Península Ibérica. É possível verificar pelos postos de abastecimento que estão a ser construídos que os postos de gás natural estão cada vez mais acessíveis à população em geral.

Foi ainda realizada uma análise ao biometano como fonte energética para os veículos, apresentando como vantagem o facto de ser uma fonte de energia renovável, o que pode representar uma percentagem significativa quando se analisam os diferentes combustíveis utilizados atualmente, uma vez que os veículos elétricos ainda dispõem de baixas autonomias e têm dificuldade de abastecer veículos pesados

Foram também analisadas as diferentes formas deste combustível ser utilizado como forma de abastecer energeticamente os veículos e algumas particularidades dos componentes necessários à utilização deste sistema que não estão presentes nos sistemas que utilizam combustíveis mais comuns.

Foi realizada uma análise económica e ambiental aos veículos pesados que foram matriculados em 2018. Com vista a realizar uma análise mais quantitativa, foi analisado o custo de aquisição e custo do combustível destes veículos de forma a verificar as diferenças percentuais. Desta análise conclui-se que atualmente, não é economicamente viável a utilização de veículos a gás natural, apresentando estes quer um custo de aquisição superior, na ordem dos 20% face aos veículos a gasóleo, quer um consumo superior, na ordem dos 6%.

Em contrapartida, ao analisar as emissões de CO₂, é possível verificar uma redução na ordem dos 9%, ou seja, uma frota a gás natural emite cerca de 9% menos de CO₂ do que se consumir gasóleo para assegurar as mesmas distâncias.

Algumas das medidas que permitem aumentar a utilização de gás natural veicular, já em prática atualmente, são a utilização de taxas para as emissões de poluentes ou a redução de impostos para veículos movimentados a combustíveis menos poluentes.

Terminado o ano 2019 foi possível realizar uma análise da quantidade e do tipo de combustíveis que procura a população europeia.

Para 2020, existem diversas associações ligadas ao ramo do GN, como é o caso da *European Biogas Association (EBA)*, *Natural Gas Vehicle Association European (NGVA)*, *European Automobile Manufacturers Association (ACEA)*, que procuram acelerar a construção de infraestruturas para fornecimento de GN em toda a União Europeia.

É necessário encontrar uma solução rápida e vantajosa para reduzir as emissões de CO₂ até 2050 na Europa. Para isso, o GN no estado liquefeito ou no estado gasoso (comprimido), é uma solução potencial quer para veículos particulares quer para veículos públicos. No transporte pesado de mercadorias, pode ser uma alternativa bastante viável visto que, este combustível pode ser utilizado em conjunto com o gasóleo ou até mesmo com a gasolina.

6. Referências

1. **GASNAM.** [Online] <https://gasnam.es/>.
2. **Reif, Prof. Dr. Ing. Konrad.** *Automotive Handbook Bosh Invented for life.* s.l. : WILEY, 2011.
3. **Vivo, Dinheiro.** [Online] <https://www.dinheirovivo.pt/economia/gas-natural-portugal-volta-a-bater-records-de-consumo/>.
4. **Galp.** [Online] <https://galpgasnaturaldistribuicao.pt/Gas-Natural/Sistema-Nacional-de-Gas-Natural>.
5. **Automóvel, Razão.** [Online] <https://www.razaoautomovel.com>.
6. **SAPO.** [Online] <https://pplware.sapo.pt/motores/portugal-matriculados-359-carros-a-gas-natural-em-2019/>.
7. **NGVA.** [Online] <https://www.ngva.eu/>.
8. **Economia, Ministério da.** **Aprova o Regulamento de Segurança Relativo ao Projecto, Construção, Exploração e Manutenção de Postos de Enchimento de Gás Natural.** *Diário da República n.º 259/2001.* 2001. 1270.
9. **WEH.** [Online] <https://www.weh.com/refuelling-components-cng/>.
10. **Seat.** [Online] <https://www.seat.pt/>.
11. **Truks, Volvo.** [Online] <https://www.volvotrucks.com.pt/>.
12. **Wheelsage.** [Online] <https://br.wheelsage.org/iveco/stralis/>.
13. **Turbosquid.** [Online] <https://www.turbosquid.com>.
14. **Portal da Energia.** [Online] <https://www.portal-energia.com/energia-do-biogas/>.
15. **Clarke Energy.** [Online] <https://www.clarke-energy.com/biomethane/>.
16. **Imran Ullah Khan, Mohd Hafiz Dzarfan Othman, Haslenda Hasmim, Takeshi Matsuura, A. F. Ismail, M. Rezaei DashtArzhandi, I. Wan Azelee.** **Biogas as a renewable energy fuel- A review of biogas upgrading, utilisation and storage.** 2017.
17. **Europa, EC.** [Online] https://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=search.dspPage&n_proj_id=7198.
18. [Online] <https://autoportal.iol.pt/novidades/biocombustivel/seat-participa-em-novo-projeto-europeu-sobre-biometano>.
19. **GPL, USSE.** [Online] <http://www.ussegpl.pt/noticias/arquivo/o-que-%C3%A9-o-gpl-e-quais-as-principais-diferen%C3%A7as-entre-o-g%C3%A1s-natural/>.
20. **between, Difference.** [Online] <http://www.differencebetween.net/object/auto-object/difference-between-ngv-and-lpg/>.
21. **Muhammad Imran Khan, Tabassum Yasmin, Abdul Shakoore.** **Technical overview of compressed natural gas (CNG) as a transportation fuel.**

22. Porto Alegre. [Online] <http://ronaldofotografia.blogspot.com/2018/05/gasogenio-um-pouco-da-historia.html>.
23. [Online] <https://www.portalmercedes.com/>.
24. Boretti, Alberto. Advantages and Disadvantages of Diesel Single and Dual-Fuel Engines. 2019.
25. B.B. Sahoo, N. Sahoo, U.K. Saha. Effect of engine parameters and type of gaseous fuel on the performance.
26. [Online] <https://www.oficinabrasil.com.br/noticia/tecnicas/monitor-do-sistema-de-combustivel-gera-a-precisao-do-sistema-de-injecao-eletronica-parte-2>.
27. Hui Xian, Berna Karali, Gregory Colson, Michael E. Wetzstein. Diesel or compressed natural gas? A real options evaluation of the U.S. natural gas boom on fuel choice for trucking fleets.
28. Ignacio Arias Fernández, Manuel Romero Gómez, Javier Romero Gómez, A. Álvaro Baaliña Insua. Review of propulsion systems on LNG carriers.
29. Abdullah Yasar, Rizwan Haider, Amtul Bari Tabinda, Fidous Kausar, Maryam Khan. A Comparison of Engine Emissions from Heavy, Medium, and Light Vehicles for CNG, Diesel and Gasoline Fuels.
30. Syed KALEEMUDDIN, Gaddale Amba Prasad. CONVERSION OF DIESEL ENGINE INTO SPARK IGNITION ENGINE TO WORK WITH CNG AND LPG FUELS FOR MEETING NEW EMISSION NORMS.
31. P. Boisen, M. Lage. NG/ biomethane used as vehicle fuel.
32. NIST. [Online] <https://webbook.nist.gov/chemistry/fluid/>.
33. E. Distaso, R. Amirante, P. Tamburrano and R. D. Reitz. Steady-State Characterization of Particle Number Emissions from a Heavy-Duty VI Engine Fueled with Compressed Natural Gas. 2018.
34. Europeu, Parlamento. [Online] <https://www.europarl.europa.eu/news/en>.
35. ACEA. [Online] <https://www.acea.be/>.
36. GASNET. [Online] https://www.gasnet.com.br/gasnatural/combust_completo.asp.
37. Portugal, Associação Automóvel de. [Online] <https://www.acap.pt/pt/home>.
38. <https://www.europarl.europa.eu/news/pt/headlines/society/20190313STO31218/emissoes-de-dioxido-de-carbono-nos-carros-factos-e-numeros-infografia>. [Online]
39. Adem Ugurlu, Semiha Oztuna. A comparative analysis study of alternative energy sources for automobiles.
40. Muhammad Imran Khan, Tabassam Yasmeen, Abdul Shakoor, Niaz Bahadur Khan, Muhammad Wakeel, Bin Chen. Exploring the potential of compressed natural gas as a viable fuel option to sustainable transport: A bibliography.

41. [Online] <https://blog.ucsusa.org/jimmy-odea/electric-vs-diesel-vs-natural-gas-which-bus-is-best-for-the-climate>.
42. Girma T. Chala, Abd Rashid Abd Aziz and Ftwi Y. Hagos. *Natural Gas Engine Technologies: Challenges and Energy Sustainability Issue*. 2018.
43. Sousa, UC. [Online] <https://blog.ucsusa.org/jimmy-odea/electric-vs-diesel-vs-natural-gas-which-bus-is-best-for-the-climate>.
44. fuels, Clean energy. [Online] <https://www.cleanenergyfuels.com/blog/clean-energy-natural-gas-fuels-canadian-transportation-fleets>.
45. Europe, Fuels. [Online] <https://www.fuelseurope.eu/policy-priorities/products/the-future-of-transport/>.
46. *Bosch Mobility Solutions*. [Online] <https://www.bosch-mobility-solutions.com>.